



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENERAPAN SISTEM STRUKTUR  
DINDING MEMIKUL (*BEARING WALL*)  
(Studi Kasus: Perbandingan Sistem Struktur Pada  
RUSUNAWA Pulo Gebang Dengan Cengkareng)**

**SKRIPSI**

**DINASTIA GILANG SURYANI  
0606075580**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM ARSITEKTUR  
DEPOK  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENERAPAN SISTEM STRUKTUR  
DINDING MEMIKUL (*BEARING WALL*)  
(Studi Kasus: Perbandingan Sistem Struktur Pada  
RUSUNAWA Pulo Gebang Dengan Cengkareng)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Arsitektur**

**DINASTIA GILANG SURYANI  
0606075580**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM ARSITEKTUR  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Dinastia Gilang Suryani**

**NPM : 0606075580**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 8 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Dinastia Gilang Suryani  
NPM : 0606075580  
Program Studi : Arsitektur  
Judul Skripsi :

**Penerapan Sistem Struktur Dinding Memikul (*Bearing Wall*)  
(Studi Kasus: Perbandingan Sistem Struktur  
Pada RUSUNAWA Pulo Gebang Dengan Cengkareng)**

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Arsitektur pada Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Emirhadi Suganda M.Sc. ( )

Penguji : Ir. Sukisno M.Si. ( )

Penguji : Ir. A. Sadili Somaatmadja M.Si. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 8 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Arsitektur Jurusan Arsitektur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Emirhadi Suganda M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) pihak PERUM PERUMNAS yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan, terutama Ir. Manasal A.L. Toruan selaku Manager RUSUNAWA Cabang Jakarta II;
- (3) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) para dosen Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia, terutama Ibu Paramita Atmodiwirjo S.T., M.Arch., Ph.D. selaku dosen pembimbing akademis saya;
- (5) sahabat-sahabat baik saya, yaitu : Gemala Dewi, Agnes Aulia, Sandra Devanny, Zwestin Gomgom Welfry, Chairunnisa, Siti Nur Ayu Agustina Rachman, dan Sherly Listiyanti yang sedikit banyak telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (6) teman-teman Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia, terutama angkatan 2006;

(7) semua penyanyi, grup, atau band yang lagu-lagunya selalu menemani saya selama proses pengerjaan skripsi ini, antara lain : 2NE1, BENI, BIG BANG, Gummy, Kana Nishino, Porno Graffitti, Thelma Aoyama, dan lainnya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 8 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dinastia Gilang Suryani  
NPM : 0606075580  
Program Studi : Arsitektur  
Departemen : Arsitektur  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas skripsi saya yang berjudul :

**Penerapan Sistem Struktur Dinding Memikul (*Bearing Wall*)**

**(Studi Kasus: Perbandingan Sistem Struktur**

**Pada RUSUNAWA Pulo Gebang Dengan Cengkareng)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas RoyaltiNoneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 8 Juli 2010  
Yang menyatakan

(Dinastia Gilang Suryani)

vii

## ABSTRAK

Nama : Dinastia Gilang Suryani  
Program Studi : Arsitektur  
Judul : Penerapan Sistem Struktur Dinding Memikul (*Bearing Wall*)  
(Studi Kasus: Perbandingan Sistem Struktur Pada RUSUNAWA Pulo Gebang Dengan Cengkareng)

Skripsi ini membahas penerapan dan perkembangan sistem struktur dinding pemikul sampai saat ini serta prospeknya di masa depan. Metode penelitian yang dilakukan adalah deskriptif analitis dengan pendekatan kualitatif. Hasil penelitian menyarankan bahwa penggunaan sistem struktur dinding pemikul dapat menjadi efektif dan efisien jika diterapkan, menurut kaidah-kaidah bangunan berstruktur dinding pemikul, pada bangunan dengan ketinggian tertentu (dengan menggunakan beton pracetak, maksimal tujuh lantai). Biaya pembangunan yang dikeluarkan memang sedikit lebih besar daripada sistem struktur rangka, tapi waktu pengerjaan bangunannya relatif lebih cepat dan bangunannya, biasanya, kokoh dan tahan lama.

Kata kunci:

Sistem struktur dinding pemikul, beton pracetak, sistem struktur rangka

## ABSTRACT

Name : Dinastia Gilang Suryani  
Study Program : Architecture  
Title : Application of Bearing Wall Structural System  
(Case Study: The Comparison of Structural System Between  
RUSUNAWA Pulo Gebang and Cengkareng)

The focus of this study is the application of bearing wall structural system today, its development up until now and its future prospects. The purpose of this study is to understand why the frame structural system is far more popular than the bearing wall structural system, the development of bearing wall structural system in buildings up to today, and the prospect of bearing wall structural system in the future. This research is using analytical descriptive method. The researcher suggests that the use of the bearing wall structural system can be effective and efficient if implemented, according to the rules of the building structure bearing walls, in buildings with certain height (by using precast concrete, a maximum of seven floors).

Key words:

Bearing wall structural system, frame structural system, precast concrete

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Pertanyaan Penelitian .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Batasan Penelitian .....	3
1.7 Sistematika Penulisan .....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengertian Sistem Struktur Dinding Pemikul .....	6
2.2 Tanah Sebagai Material Sistem Struktur Dinding Pemikul .....	7
2.2.1 <i>Rammed Earth</i> .....	9
2.2.2 Tanah Plastis .....	11
2.2.3 Tanah Pra-pabrikasi .....	14
2.2.3.1 Batu Bata Lumpur .....	14
2.2.3.2 Batu Bata Bakar/Panggang .....	20
2.3 Beton Sebagai Material Sistem Struktur Dinding Pemikul .....	23
2.3.1 Perbedaan Antara Beton Romawi dan Beton Modern .....	24
2.3.2 Aplikasi Beton Romawi pada Bangunan .....	28
2.3.3 Perkembangan Beton Modern .....	30
2.4 Penelitian Terdahulu .....	36
2.4.1 Rumah Bertingkat di Shibam, Yaman .....	37
2.5 Rangkuman Kepustakaan .....	44
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>48</b>
3.1 Metode Penelitian .....	48
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	48
3.3 Unit Penelitian .....	48
3.4 Pengumpulan Data .....	48
3.5 Analisis Data .....	49

<b>4. ANALISIS .....</b>	<b>50</b>
4.1 RUSUNAWA Seruni, Pulo Gebang .....	50
4.1.1 Data Umum .....	50
4.1.2 Sistem Struktur Bangunan .....	51
4.1.3 Material Bangunan .....	52
4.1.4 Proses Pelaksanaan Konstruksi .....	52
4.1.5 Kelebihan dan Kekurangan .....	53
4.2 RUSUNAWA Cengkareng .....	56
4.2.1 Data Umum .....	56
4.2.2 Sistem Struktur Bangunan .....	56
4.2.3 Material Bangunan .....	57
4.2.4 Proses Pelaksanaan Konstruksi .....	57
4.2.5 Kelebihan dan Kekurangan .....	58
4.3 Hasil Analisis .....	59
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

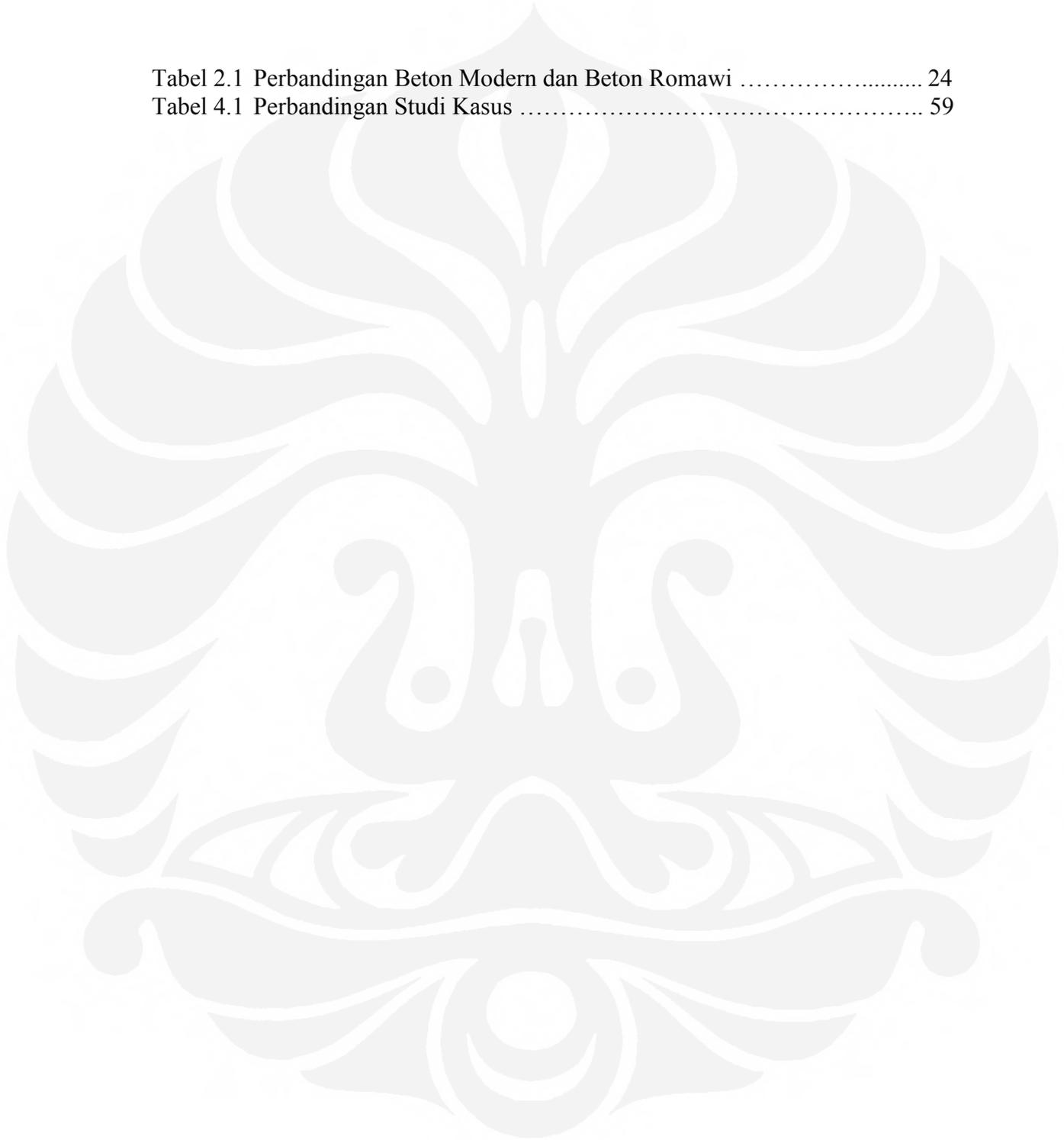
Gambar 2.1	Dinding Pemukul yang Dibebani Gaya Lateral .....	6
Gambar 2.2	Sistem Konstruksi Dinding <i>Rammed Earth</i> Tradisional .....	10
Gambar 2.3	Pekerja yang Memegang Alat Pemukul yang Digunakan Untuk Memadatkan dan Asistennya Membawa Sejumlah Tanah Di Atas Kepalanya .....	10
Gambar 2.4	Rumah <i>Tauf</i> yang Masih Bertahan Hingga Saat Ini Di Riwadah, Yaman Utara. Bangunan Ini Diperkirakan Berumur 300-400 Tahun .....	12
Gambar 2.5	Proses Konstruksi Tanah Plastis Di Riwadah, Yaman Utara .....	13
Gambar 2.6	Roti „ <i>Cottage</i> ’ .....	13
Gambar 2.7	Bentuk Batu Bata Lumpur Bentukan Tangan Di Masa Neolitik, Millenium Keenam Sebelum Masehi .....	16
Gambar 2.8	Tipe Cetakan Batu Bata Mesir .....	18
Gambar 2.9	Cetakan Batu Bata dari Kayu yang Masih Tersisa .....	18
Gambar 2.10	Representasi Proses Manufakturisasi Batu Bata Cetakan .....	19
Gambar 2.11	Perbandingan Beton Romawi (a) dan Beton Modern (b) .....	25
Gambar 2.12	Batang Besi yang Dicampur dalam Konstruksi Batu dan Beton Romawi .....	28
Gambar 2.13	Colosseum .....	29
Gambar 2.14	Pantheon, Roma .....	29
Gambar 2.15	Gambar Lambot untuk Paten Beton Bertulangannya .....	31
Gambar 2.16	Gambar Paten Monier .....	32
Gambar 2.17	Gambar Paten Hyatt .....	33
Gambar 2.18	Gambar Paten Hennebique untuk Konstruksi Komposit Beton Bertulang .....	33
Gambar 2.19	(a) Bourg-la-Rheine, Rumah Hennebique, 1904; (b) Gedung Ingall, Cincinnati, 1902 .....	34
Gambar 2.20	View Keseluruhan Kota Shibam, Yaman .....	37
Gambar 2.21	Peta Wilayah Shibam, Yaman .....	38
Gambar 2.22	Site Plan Kota Shibam .....	38
Gambar 2.23	Denah, Tampak, Potongan Rumah di Shibam .....	39
Gambar 2.24	Cetakan Batu Bata dari Kayu .....	40
Gambar 2.25	Pekerjaan Plester Dinding Bangunan .....	43
Gambar 2.26	Pengaplikasian Plester Kapur pada Bagian Atap/Atas Bangunan .....	43
Gambar 4.1	Tampak RUSUNAWA Seruni, Pulo Gebang .....	51
Gambar 4.2	Lantai Dasar Digunakan Sebagai Area Usaha (Komersial) .....	51
Gambar 4.3	Denah Tipikal Lantai 2 Sampai dengan 5 .....	52
Gambar 4.4	Potongan RUSUNAWA Pulo Gebang .....	52
Gambar 4.5	Gedung Monadnock .....	55
Gambar 4.6	Tampak RUSUNAWA Cengkareng .....	56
Gambar 4.7	Denah Lantai Dasar RUSUNAWA Cengkareng .....	57

Gambar 4.8 Denah Tipikal Lantai 2 s.d. 5 ..... 57



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Beton Modern dan Beton Romawi .....	24
Tabel 4.1 Perbandingan Studi Kasus .....	59



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini, sistem struktur yang biasa dan sering digunakan dalam bangunan adalah sistem struktur rangka. Sistem struktur rangka merupakan sistem struktur yang sesuai dengan kebanyakan jenis gedung yang, saat ini, dibangun yaitu gedung bertingkat tinggi. Hal ini sesuai karena beban strukturnya lebih ringan dibanding dengan sistem struktur yang sudah lebih lama dikenal manusia yaitu sistem struktur dinding pemikul. Sistem struktur dinding pemikul menggunakan dinding sebagai penyalur beban vertikal yang diteruskan ke pondasi sedangkan sistem struktur rangka menggunakan kolom dan balok sehingga beban struktur yang dimiliki sistem struktur rangka lebih ringan dibanding dengan sistem struktur dinding pemikul.

Hal ini tidak menjadikan eksistensi struktur dinding pemikul menjadi hilang. Bangunan-bangunan lama yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul masih ada hingga sekarang, bahkan kita masih dapat mengalami ruangnya secara langsung. Beberapa contohnya di Jakarta adalah Hotel Sultan dan Gereja Katedral. Bangunan-bangunan ini memperlihatkan kekuatan dan kekokohan sebuah bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul. Selain kekokohan dan kekuatannya, bangunan-bangunan tersebut juga masih memancarkan keindahannya melalui susunan material pembentuk dindingnya.

Kelebihan-kelebihannya tersebut, saat ini, tampaknya sudah tertutupi oleh kelebihan-kelebihan sistem struktur rangka yang jauh lebih efektif dan efisien untuk memenuhi bentuk arsitektur seperti apapun. Struktur rangka efektif untuk mendapatkan bangunan bertingkat tinggi setinggi apapun atau bangunan bentang lebar dan efisien dari segi biaya, penggunaan material, dan teknologi konstruksi.

Walaupun demikian, bukan berarti, sistem struktur dinding pemikul berhenti perkembangannya. Perkembangan teknologi tidak hanya memungkinkan perkembangan bagi sistem struktur rangka tapi juga perkembangan bagi sistem struktur dinding pemikul. Hal ini bisa dilihat dari sisi konstruksinya. Dahulu,

dinding pemikul terbentuk hanyalah dari susunan material-material penyusun dinding pada umumnya seperti batu bata, batu alam lainnya, dan beton. Seiring perkembangan zaman, dinding pemikul, selain terbentuk dari material-material penyusun dinding, juga terbentuk dari tulangan-tulangan besi yang disusun sedemikian rupa dengan material penyusun dinding untuk mendapatkan sebuah dinding pemikul yang lebih kokoh dibanding sebelumnya.

Kebutuhan untuk mengetahui lebih lanjut pengetahuan terkait sistem struktur dinding pemikul dan kelebihan-kelebihan serta potensi perkembangan yang ditawarkan oleh sistem struktur dinding pemikul untuk perkembangan arsitektur merupakan latar belakang penulis dalam menulis skripsi ini. Hal ini juga ditambah kekaguman penulis terhadap ekspresi-ekspresi yang ditimbulkan oleh bangunan-bangunan lama yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Sistem dinding pemikul merupakan salah satu opsi sistem struktur yang dapat dipilih untuk diaplikasikan pada bangunan, selain sistem struktur rangka. Fakta yang terjadi di lapangan, justru, sistem struktur rangkalah yang lebih populer atau lebih sering digunakan saat ini. Kecenderungan bahwa sistem struktur rangka lebih dipilih dibanding dengan sistem struktur dinding pemikul mengisyaratkan bahwa ada sesuatu yang tidak dimiliki oleh sistem struktur dinding pemikul tapi dimiliki oleh sistem struktur rangka dan berlaku sebaliknya. Masalah ini yang, kemudian, akan dirumuskan dalam skripsi.

## **1.3 Pertanyaan Penelitian**

Dari rumusan masalah yang ada, kemudian, menjadi dasar dari pertanyaan penelitian yang diajukan dalam skripsi. Pertanyaan yang akan dijawab melalui penelitian yang dilakukan, adalah :

1. Mengapa sistem struktur rangka jauh lebih populer dibanding sistem struktur dinding pemikul?
2. Bagaimana perkembangan sistem struktur dinding pemikul pada bangunan sampai saat ini?
3. Bagaimana prospek sistem dinding pemikul di masa depan?

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang dilakukan adalah :

1. Mengetahui alasan sistem struktur rangka jauh lebih populer dibanding sistem struktur dinding pemikul.
2. Mengetahui perkembangan sistem struktur dinding pemikul pada bangunan sampai saat ini.
3. Mengetahui prospek sistem struktur dinding pemikul di masa depan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan ini, nantinya, diharapkan bermanfaat sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan sistem struktur, dinding pemikul atau rangka, yang akan dipakai sesuai dengan kebutuhan dan kegunaan bangunan.

#### **1.6 Batasan Penelitian**

Penelitian dibatasi hanya dengan menganalisis studi kasus sistem struktur dinding pemikul pada rumah susun. Untuk mendukung analisis, penulis membahas, sebelumnya, perkembangan pengaplikasian sistem struktur dinding pemikul secara kronologis. Penjelasan secara kronologis ini disusun berdasar material bangunan yang digunakan mulai dari tanah sampai dengan beton.

#### **1.7 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi dibagi menjadi lima bab dengan urutan penulisan sebagai berikut :

##### **1. PENDAHULUAN**

Bab pertama memuat latar belakang penulisan, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

##### **2. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab kedua berisi data-data terkait perkembangan sistem struktur dinding pemikul yang didapat dari sumber literatur dan elektronik yang terusun

secara kronologis. Kemudian, dilanjutkan dengan rangkuman kepustakaan dan penelitian terdahulu.

### 3. METODE PENELITIAN

Bab ketiga memuat metode penelitian, lokasi dan waktu penelitian, unit penelitian, pengumpulan data, serta analisis data.

### 4. ANALISIS

Bab keempat memaparkan dua studi kasus pengaplikasian sistem struktur dinding pemikul pada bangunan dan satu studi kasus pengaplikasian sistem struktur rangka. Perbandingan ketiga studi kasus ini dijadikan hasil analisis.

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir memuat kesimpulan dan saran yang ditulis berdasarkan isi dari keempat bab sebelumnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Manusia, pada awalnya, hidup berpindah-pindah (nomaden). Hal ini adalah akibat dari cara manusia, pada saat itu, bertahan hidup, termasuk di dalamnya cara mereka mendapatkan bahan makanan. Ketika manusia menemukan cara lain, selain berburu untuk mendapatkan bahan makanan, yaitu dengan bercocok tanam, manusia mulai hidup menetap. Konsekuensinya, manusia membangun dinding-dinding yang membentuk hunian mereka sebagai pelindung agar mereka merasa aman.

Dinding-dinding hunian tersebut dibangun dengan material dan teknologi konstruksi yang terbatas, saat itu. Material bangunan yang ada pada saat itu adalah material yang tersedia dari alam antara lain kayu, tanah, batu, dan sebagainya. Pada beberapa daerah di Dunia, dinding hunian yang ditujukan sebagai pelindung ini, bertindak juga sebagai struktur. Hal ini, khususnya, berlaku apabila kita membangun dengan menggunakan material tanah.

Selain hunian, bangunan lain seperti kuil yang merupakan bangunan yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan spiritual manusia juga dibangun. Hal ini terjadi karena ketika manusia mengubah cara hidupnya dari berpindah-pindah menjadi menetap, terciptalah sebuah komunitas dan seperti halnya manusia sebagai individu, manusia sebagai bagian dari sebuah komunitas juga mempunyai kebutuhan ruang. Salah satu kebutuhan ruang sebuah komunitas yang harus dipenuhi antara lain adalah ruang spiritual. Ruang spiritual yang dibangun pada masa itu merupakan bentuk representasi mereka terhadap apa yang mereka percayai seperti, misalnya, dewa. Bentuk representasi tersebut diwujudkan dalam sebuah bangunan seperti kuil yang biasanya monumental atau berskala besar.

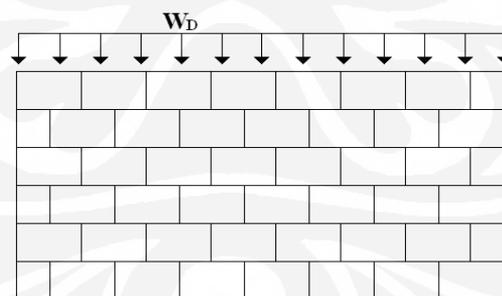
Bangunan monumental tersebut dapat mereka wujudkan pada saat itu dengan menjadikan dinding sebagai struktur bangunannya dan menggunakan tanah sebagai material bangunannya. Pilihan ini didasarkan pada terbatasnya material dan teknologi konstruksi bangunan yang dapat digunakan. Penggunaan sistem struktur dinding pemikul ini sendiri tidak bertahan lama. Akibat semakin

berkembangnya teknologi yang sejalan dengan bertambahnya waktu, penggunaan sistem struktur dinding pemikul pun tergeser oleh hadirnya sistem struktur rangka. Hal ini juga diikuti oleh bergesernya penggunaan material tanah sebagai material bangunan oleh material baja dan beton.

Latar belakang dari terjadinya pergeseran-pergeseran tersebut dapat kita ketahui dengan menelusuri perjalanan dari penggunaan sistem struktur dinding pemikul dari awal hingga akhir. Penjelasan mengenai hal itu sendiri, tidak dapat dilepaskan dari perkembangan penggunaan material bangunan karena teknologi sistem struktur dinding pemikul berkembang sejalan dengan perkembangan material bangunan. Perkembangan keduanya akan dibahas lebih lanjut dalam sub-sub bab berikut. Tapi, sebelumnya, pengertian sistem struktur dinding pemikul akan dibahas terlebih dahulu.

## 2.1 Pengertian Sistem Struktur Dinding Pemikul

Sistem struktur dinding pemikul adalah sistem struktur yang menggunakan dinding sebagai penopang/pemikul beban pada bangunan. Jika kita bandingkan dengan sistem struktur rangka, beban pada bangunan ditopang/dipikul oleh kolom dan balok, dinding pada bangunan yang menggunakan sistem struktur ini berfungsi hanya sebagai pembatas. Penambahan fungsi struktural pada dinding, yang biasanya kita gunakan hanya sebagai pembatas, memerlukan perlakuan khusus yang harus dipenuhi jika kita ingin menggunakannya.



Gambar 2.1 Dinding Pemikul yang Dibebani Gaya Vertikal

Sumber : [google.com/images](https://www.google.com/images)

Perlakuan khusus tersebut antara lain kita lakukan, khususnya pada bangunan bertingkat banyak, pada perancangan denah. Karena penyaluran beban vertikal pada bangunan dilakukan oleh dinding, denah per lantai bangunan bertingkat banyak yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul biasanya

**Universitas Indonesia**

tipikal/seragam. Jadi, tidak mengherankan, apabila bangunan bertingkat banyak yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul biasanya adalah bangunan residensial seperti hotel dan apartemen yang memiliki denah per lantai yang tipikal.

Selanjutnya, yang perlu dilakukan adalah perancangan bukaan. Perancangan bukaan pada bangunan yang menggunakan struktur dinding pemikul harus dilakukan dengan tepat. Karena tidak hanya segi utilitasnya (pencahayaan dan penghawaan) saja yang perlu diperhatikan dalam perancangannya, tapi segi strukturalnya juga. Peletakan, jumlah, dan dimensi bukaan pada bangunan yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul harus dilakukan tanpa mempengaruhi kekuatan struktural bangunannya.

Penentuan ketebalan dinding juga harus dilakukan dengan seksama. Hal ini berkaitan erat dengan berapa beban yang harus dipikul oleh dinding per lantai. Pada bangunan bertingkat banyak yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul, dinding lantai terbawah biasanya memiliki ketebalan yang paling besar. Semakin ke atas, ketebalan dinding biasanya semakin menipis. Hal ini wajar terjadi pada bangunan yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul sebab dinding di lantai paling bawah menopang beban lantai-lantai di atasnya.

Perlakuan-perlakuan khusus ini merupakan perlakuan paling dasar yang dilakukan untuk merancang bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul. Perlakuan khusus tambahan dilakukan, jika perlu, bergantung pada material yang digunakan. Beda material, beda pula perlakuan yang akan dilakukan. Dengan melihat perkembangan material dari waktu ke waktu, kita akan melihat perkembangan sistem struktur dinding pemikul.

## **2.2 Tanah Sebagai Material Sistem Struktur Dinding Pemikul**

Permulaan perkembangan sistem struktur dinding pemikul dimulai dengan penggunaan material tanah sebagai bahan dasar material bangunan. Alasannya karena tanah juga merupakan bahan dasar material bangunan yang pada awalnya dipakai sebagai material pembentuk dinding. Tanah berasal dari alam. Menurut G.R.H. Wright (2005), “tanah tercipta dari erosi batuan, baik secara mekanis maupun kimiawi” (hal. 77). Jadi, tanah sebenarnya berupa partikel-partikel

individual tidak peduli apapun komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Kerikil yang sangat kecil tidak termasuk di dalamnya. Partikel-partikel tersebut dibagi menjadi dua berdasarkan ukuran dan bentuknya menjadi partikel besar dan partikel kecil. Partikel besar biasanya berbentuk bulat atau kaku/bersiku-siku dan merupakan hasil erosi mekanis. Partikel kecil berupa serpihan-serpihan dan merupakan hasil erosi kimiawi. Keduanya berperan dalam pembentukan kualitas tanah yang berpengaruh pada kegunaannya nanti sebagai material bangunan yaitu kekuatan dan kohesi (gaya tarik-menarik antara partikel sejenis). Partikel besar berpengaruh pada kekuatan tanah sehingga tanah kuat terhadap tekanan. Partikel kecil berperan sebaliknya, ia justru menyebar di seluruh permukaan tanah agar kohesi yang dihasilkan semakin kuat. Kohesi adalah gaya bekerja di permukaan. Semakin luas permukaannya, semakin besar gaya tarik-menarik yang dihasilkan.

Ketika kedua partikel ini telah bersatu/bercampur, tanah dapat digunakan sebagai material bangunan yang baik. Secara alami, kedua partikel ini dapat bersatu melalui proses alam menjadi batu sedimen dan metamorf. Tapi, batu tersebut bukanlah hasil yang kita inginkan. Kita ingin menghasilkan tanah yang dapat digunakan sebagai material bangunan. Untuk itu, kita harus memanipulasi tanah yang berupa partikel-partikel individual menjadi kumpulan partikel yang menyatu. Caranya dengan memberikan tanah perlakuan yang sama/setara seperti perlakuan alam yang dapat menyatukannya yaitu dengan memberikan tekanan, air, dan api/panas.

Ada dua kondisi fisik tanah yang dipakai sebagai material bangunan yaitu kaku atau plastis/lentur. Ketika kita menggunakan tanah dengan kondisi fisik yang plastis/lentur sebagai material bangunan, berarti kita membutuhkan air sebagai bahan tambahan untuk memanipulasi tanah. Contohnya adalah lumpur. Kemudian, jika kita menggunakan tanah dengan kondisi fisik yang kaku/padat, kita harus menggunakan api/membakar/menekannya untuk mendapatkan kondisi fisik tersebut. Contohnya batu bata dan *rammed earth*. Walaupun prosesnya tampak mudah dilakukan, penjelasan ilmiah dalam proses-proses memanipulasi tanah menjadi material bangunan sangatlah rumit (Wright. 2005, hal. 86).

Dari ketiga perlakuan yang perlu kita lakukan untuk memperoleh tanah yang sesuai untuk dijadikan material bangunan, menekan/memadatkannya secara

langsung merupakan perlakuan yang paling mudah dan sederhana untuk dilakukan. Logikanya, semakin padat, kohesinya akan semakin kuat. Hal ini mudah dilakukan jika diterapkan secara horizontal, misalnya jika diterapkan pada lantai atau atap. Lain halnya, jika kita terapkan secara vertikal (dinding), kita memerlukan semacam cetakan (berupa kotak/pembatas) sebelum memadatkannya. Konstruksi cetakan/pembatasnya sendiri bukanlah hal yang mudah dikerjakan.

Jika menggunakan air, partikel tanah liat yang bekerja. Air membuat tanah menjadi lebih plastis karena ia seperti pelumas yang melicinkan partikel tanah liat yang berupa serpihan-serpihan sehingga tiap-tiap partikel dapat saling terikat/terhubung satu sama lain. Lalu, jika kita memanaskannya, bahkan hanya dengan panas matahari sekalipun, air akan menguap sehingga partikel-partikel akan semakin melekat akibat gaya tarik permukaan dan menghasilkan tanah yang padat dan solid. Apabila tanah solid tersebut dibakar/dipanggang, kristalisasi air akan keluar sehingga menghasilkan material yang lebih padat. Selain itu, proses pembakaran juga mengubah komposisi kimia yang terkandung dalam tanah.

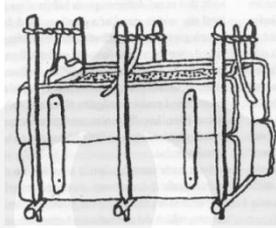
Jadi, urutan perkembangan penggunaan tanah sebagai material bangunan secara historis, idealnya, adalah diawali dengan *rammed earth*, tanah plastis, dan tanah padat mulai dari yang dijemur sampai yang terakhir adalah batu bata yang dibakar/dipanggang. Validitasnya urutan perkembangan ini dapat dipastikan kecuali *rammed earth* (Wright. 2005, hal. 87).

### 2.2.1 *Rammed Earth (Terre Pise)*

Istilah *terre pise* ditujukan untuk mewakili tanah yang memadat karena adanya tekanan dalam cetakan berupa kotak pembatas, yang kemudian digunakan dalam konstruksi bangunan. Banyak referensi dari penggunaan awal *terre pise*, salah satunya dicatat penggunaannya sejak 10.000 tahun yang lalu sebelum penggunaan batu bata lumpur.

Pembatas yang digunakan untuk *terre pise* sangatlah sederhana yaitu papan horizontal dari kayu yang ditahan dengan pasak/pengait vertikal ditambah dengan pengikat silang dari kayu dan diikat dengan tali. Ketinggian dari unit pembatasnya memiliki batasan tertentu sehingga tidak menghalangi proses pemadatan, meningkatkan tekanan, dan mempermudah proses pengerjaannya. Walaupun

materialnya (kayu) dan konstruksinya sederhana, pengerjaannya bukanlah berarti pekerjaan yang mudah karena adanya batasan tentang ukuran pembatas tersebut.



Gambar 2.2 Sistem Konstruksi Dinding *Rammed Earth* Tradisional

Sumber : Encyclopedia of Vernacular Architecture

Tergantung komposisi tanahnya, tanah dapat ditekan sehingga meningkat kepadatannya antara 50% sampai 100%. Begitu pula dengan peningkatan kekuatannya (misalnya dari kepadatan sekitar 1.000 kg per m<sup>3</sup> menjadi 2.000 kg per m<sup>3</sup>). Sebelum digunakan dalam konstruksi *terre pise*, tanah harus dicampur agar memiliki kandungan dan komposisi yang sesuai, contohnya bongkahan tanah yang besar harus terlebih dahulu dihancurkan. Proses pencampurannya biasanya merupakan proses penggilingan. Tanah yang digunakan untuk dipadatkan (*terre pise*) harus berupa kumpulan partikel-partikel terpisah. Kita tidak dapat memadatkan material yang solid (bongkahan/gumpalan tanah). Begitu juga dengan material plastis (lumpur). Sejumlah air memang digunakan dalam proses persiapannya tapi hanya untuk mempermudah proses pencampuran dan pengerjaannya bukan untuk mempermudah proses pemadatan. Dalam konstruksi *terre pise* tradisional, pengerjaannya membutuhkan banyak tenaga dan waktu (sekitar satu jam tergantung dari tekanan yang diinginkan). Alat pemukul/pemadatnya memiliki kepala metal yang keras dengan berbagai macam bentuk yang dapat mempermudah pekerjaan di bagian pinggir/tepi dan sudut.



Gambar 2.3 Pekerja yang Memegang Alat Pemukul yang Digunakan Untuk Memadatkan dan Asistennya Membawa Sejumlah Tanah Di Atas Kepalanya.

Sumber : Ancient Building Technology

Konstruksi dinding *rammed earth* adalah teknik yang sudah lama ada tapi masih digunakan secara efektif di berbagai belahan dunia dan dapat diamati di rumah-rumah vernakular di Inggris, selatan Spanyol dan Portugal, selatan Perancis, barat daya Afrika dan di Cina. Proses yang hampir sama juga telah digunakan, untuk bangunan monumental sejak akhir millennium keempat sebelum masehi di Uruk, Irak, dimana material papannya adalah sejenis gipsum dengan bahan pengikatnya berupa pecahan tembikar. Di Sussex, Inggris, dinding pondok yang terbuat dari lumpur tersusun dari tanah liat yang dicampur dengan jerami yang dicacah atau batu-batuan dan dipadatkan di antara papan, masih bertahan hingga sekarang.

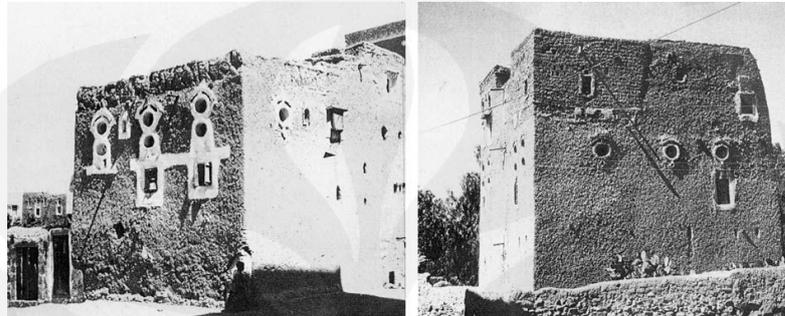
Konstruksi ini hanya dapat dilakukan pada daerah-daerah dengan kondisi iklim tertentu. Lebih sering ditemukan di daerah beriklim tropis kering (curah hujan kecil). Di daerah tersebut, sumber daya alam berupa bahan tambahan yang diperlukan untuk mendapatkan campuran tanah yang sesuai tersedia, begitu juga dengan kayu yang dibutuhkan untuk membentuk rangka cetaknya. Proses konstruksinya selalu dilakukan pada musim kemarau, ketika aktivitas pertanian tidak begitu sering dikerjakan.

### 2.2.2 Tanah Plastis/Lumpur (*In Situ*)

Tanah plastis yang dimaksud disini adalah tanah yang dalam keadaan plastis/lentur dan berada dalam sebuah elemen strukturalnya, kemudian mengering dan menjadi padat di tempatnya tersebut. Walaupun, lebih seringnya, tanah digunakan untuk material sekunder/pelengkap seperti plester, tanah juga dapat digunakan sebagai material primer/utama seperti tanah plastis struktural.

Penemuan lumpur sebagai material primer didahului oleh penggunaannya sebagai material sekunder yaitu sejak awal masa mesolitik. Penemuan lumpur sebagai plester permukaan bangunan menyadarkan manusia bahwa dari lumpur yang tidak berbentuk ini, kita dapat membangun bentukan yang kita inginkan. Hal ini diketahui dari bukti bahwa 10.000 tahun yang lalu di daerah Timur Tengah dari Palestina sampai Iran dan Irak, manusia telah mempelajari dan mencoba berbagai macam teknik pengerjaan untuk menciptakan ruang tinggal manusia (membangun sendiri hunian mereka yang nyaman dan *water-proof*) yang

dibangun dari lumpur. Teknik ini terbukti keefektifannya dari fakta bahwa walaupun banyak material tanah lainnya, membangun dengan lumpur tetaplah menjadi pilihan yang telah melalui lebih dari 10.000 tahun, tidak hanya untuk hunian di pedesaan tapi juga untuk apartemen di kota.



Gambar 2.4 Rumah *Tauf* yang Masih Bertahan Hingga Saat Ini Di Rwadah, Yaman Utara  
Bangunan Ini Diperkirakan Berumur 300-400 Tahun

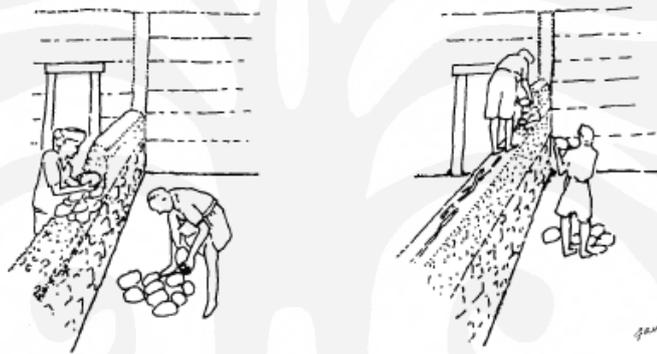
Sumber : Ancient Building Technology

Dalam bahasa arab, konstruksi lumpur seperti ini dimakan *tauf*. *Tauf* berasal dari akar kata *tawaf* yang artinya mengitari (istilah ini biasa dipakai untuk menyebut kegiatan mengitari Ka'bah), dapat juga berarti mengelilingi atau membatasi. Pada tahap awal pengembangannya (sekitar millennium ke sembilan sebelum masehi) dinding *tauf* berbentuk seperti arti dari istilahnya, berupa pembatas rendah yang menjadi perimeter dari rumah bundar yang setengah bangunannya berada di dasar tanah dengan struktur rangka ringan. Struktur bangunan seperti ini masih bisa kita temukan di Jericho. Kemudian, sekitar tahun 8.000 sebelum masehi, manusia mulai membangun rumah dengan dinding pemikul beban yang solid dari *tauf*. Konstruksi bangunan seperti ini bertahan sampai akhirnya menjadi standar dari rumah yang baik di daerah selatan Arab dengan ketinggian sekitar 25 m atau berlantai lima sampai dengan enam. Kontras antara bentuk arsitekturalnya yang sangat rumit dengan kemudahan dan kesederhanaan teknik konstruksinya merupakan keajaiban dari bangunan yang dibangun dengan lumpur ini.

Proses konstruksi bangunan menggunakan tanah plastis ini adalah, pertama, letakkan sedekat mungkin dengan tanah yang akan dipakai dengan tempat proses pengerjaan bangunan. Tanah tersebut kemudian diberi air dan dicampur dengan cangkul sampai tercipta lumpur yang sesuai. Tanah plastis ini kemudian dipersiapkan untuk pemakaian segera. Jadi, lumpur ini tidak dapat

**Universitas Indonesia**

disimpan untuk kemudian digunakan di kemudian hari. Pertama, sejumlah lumpur dipindahkan ke area pencampuran yang lebih kecil, yang terlebih dahulu dibersihkan dari tanah kering. Lumpur ini kemudian dicampur dengan tanah kering dan bahan-bahan tambahan lainnya, contohnya antara lain jerami yang sudah terpotong-potong. Lumpur dan bahan-bahan lainnya tersebut kemudian dicampur untuk mendapatkan kohesi yang baru. Kemudian, karung goni dibentangkan di tempat yang terdekat. Asisten tukang membentuk bongkahan/gumpalan lumpur sebesar 'roti cottage' dengan menggulungnya seperti adonan di atas karung goni yang membentuk lumpur menjadi bola yang padat untuk, kemudian, diberikan kepada tukang bangunan.



Gambar 2.5 Proses Konstruksi Tanah Plastis Di Rwadah, Yaman Utara

Sumber : Ancient Building Technology



Gambar 2.6 'Roti Cottage'

Sumber : google.com/images

Ketika sejumlah bola-bola lumpur telah tersedia, asisten memberikannya kepada pembangun dinding yang, kemudian, meletakkannya di atas alas bangunan dan menumpuknya satu per satu. Jika diperlukan, seorang pekerja ditugaskan untuk memplester posisi/bagian-bagian yang sulit dilekatkan. Bagian-bagian yang kosong diisi dan permukaannya didatarkan dengan menghancurkan sebagian lumpur dari bola dengan menyumbatnya atau memplesternya. Dengan melakukan langkah-langkah tersebut, kita telah membangun satu lapisan dinding setinggi 40-50 cm. Di antara setiap lapisan dinding (atau beberapa) diberikan sekumpulan

**Universitas Indonesia**

tangkai panjang sebagai „penguat dari kayu’. Setiap lapisan dibiarkan mengering dengan permukaan akhirnya berbentuk bulat yang, kemudian ditekan supaya datar untuk dijadikan alas/dasar dari lapisan dinding selanjutnya. Setelah satu atau dua hari, pembuat dinding dapat menambahkan lapisan dinding di atasnya bahkan menaiki atau mendudukinya untuk mengerjakan lapisan dinding baru di atasnya. Teknik konstruksi ini tidak membutuhkan alat-alat tertentu. Yang dibutuhkan hanyalah pemukul dari kayu atau tongkat untuk meratakan permukaan dinding saja. Dengan teknik dan peralatan konstruksi yang begitu sederhana, sulit tampaknya untuk menemukan bangunan lain yang mungkin seekonomis bangunan dari lumpur.

Jika kita melihat dengan seksama proses pengerjaannya, tanah kering dan bahan tambahan lainnya dan proses penggulungan merupakan faktor-faktor yang meningkatkan „tekanan permukaan’ pada lumpur sehingga bola-bola lumpur, yang secara keseluruhan stabil tapi kandungannya cukup plastis, tidak mudah pecah dan dapat dibentuk dengan mudah. Hal ini menjadikan *tauf* sebagai material yang dapat berfungsi sebagai material primer (unit struktural) sekaligus material sekunder (plester).

### 2.2.3 Tanah Pra-pabrikasi

Tanah pra-pabrikasi adalah material bangunan dari tanah yang diproses melalui proses pengeringan/pemanasan/pembakaran. Produk-produknya antara lain :

#### 2.2.3.1 Batu Bata Lumpur

Batu bata lumpur merupakan langkah awal dari penggunaan material bangunan yang diproduksi dalam sejarah perkembangan teknologi bangunan. Zaman dahulu, material bangunan seperti kayu dan batu diambil secara langsung dari alam. Dengan adanya batu bata lumpur yang merupakan material bangunan pra-pabrikasi, manusia memperoleh daya untuk menguasai persediaan material bangunan, tidak lagi bergantung pada alam. Batu bata lumpur sendiri dibagi menjadi dua berdasarkan proses pembentukannya yaitu batu bata lumpur bentukan

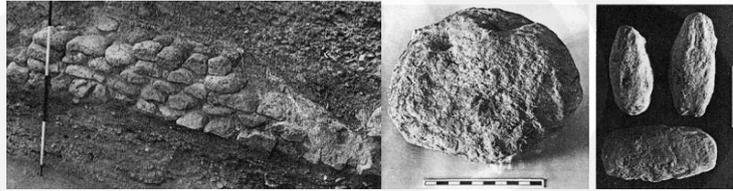
tangan (*hand modeled mud brick*) dan batu bata lumpur hasil cetakan (*form moulded mud brick*).

a. Batu Bata Lumpur Bentuk Tangan (*Hand Modeled Mud Brick*)

Batu bata lumpur bentuk tangan ditemukan sejak 10.000 tahun yang lalu, setelah manusia menggunakan lumpur (tanah plastis) sebagai material bangunan, contohnya sebagai plester. Tipe batu bata lumpur yang paling awal mengambil tanah plastis (lumpur), sedikit banyak seperti material yang digunakan dalam konstruksi *tauf*, sebagai modelnya. Perbedaannya, jika pada *tauf*, kita meletakkan tanah plastis dalam bangunan hingga ia mengering dan menjadi padat di dalam bangunan, batu bata lumpur dijemur terlebih dahulu sebelum diletakkan dalam bangunan. Walaupun perbedaannya terlihat hanya merupakan variasi dari perlakuan pada proses pengeringannya saja, sebenarnya yang berbeda adalah keseluruhan program pembangunannya. Batu bata lumpur pra-pabrikasi ditumpuk/dikumpulkan dan siap dipakai ketika ia dibutuhkan, jadi program pembangunannya dapat dikerjakan sesuai dengan waktu yang diinginkan. Jadi, batu bata lumpur merupakan material yang independen (berdiri sendiri). Program bangunan tidak perlu lagi ditunda-tunda seperti pada tanah plastis yang harus menunggu pengeringan setiap lapisan dinding sebelum mengerjakan proses konstruksi dinding selanjutnya.

Asal/inspirasi bentuk dari batu bata lumpur bentuk tangan dapat kita lihat dari bentuknya sendiri. Ia dibentuk mengikuti bentuk material bangunan lain yang, dulu, sering dipakai. Bentuk paling awal dari batu bata lumpur bentuk tangan tidaklah sembarang dan juga tidak sama di setiap tempat. Jika kita perhatikan di setiap tempat, sepanjang waktu, batu bata lumpur bentuk tangan ini memiliki bentuk yang seragam. Bentuk-bentuk ini diproklamirkan sebagai imitasi dari berbagai macam tipe dan karakteristik batu-batuan (Wright, 2005, hal. 97). Selain itu, cara penggunaan batu bata lumpur bentuk tangan paling awal memperlihatkan dengan lebih jelas tentang asal mula batu bata lumpur bentuk tangan. Kita terbiasa mengaitkan pekerjaan batu dengan semen sebagai pengikatnya. Perlakuan seperti ini sendiri merupakan tahap akhir dari pengembangan dari pekerjaan dinding dari batu bata lumpur. Hal ini tidak terjadi

pada pengerjaan konstruksi awal batu bata lumpur bentukuan tangan. Mereka ditanam dalam kandungan mortir dari lumpur seperti pembangunan dinding dari puing-puing batu. Batu bata lumpur merupakan awal dari perkembangan material bangunan hasil pra-pabrikasi yang berkelanjutan dimana manusia mulai dapat mengatur persediaannya dan tidak lagi bergantung pada persediaan alam.



Gambar 2.7 Bentuk Batu Bata Lumpur Bentukuan Tangan  
Di Masa Neolitik, Millenium Keenam Sebelum Masehi

Sumber : Ancient Building Technology

Umumnya, dimensi batu bata yang dibentuk dengan tangan sama seperti dimensi batu bata yang dipakai sampai saat ini yaitu memiliki panjang 25-30 cm. Ukuran ini berdasarkan dari praktik penempatan batu bata dengan tujuan agar batu bata mudah dipegang dan dipindahkan dengan satu tangan tanpa kesulitan apapun.

Penemuan batu bata lumpur merupakan penemuan yang hebat dan dapat disebut revolusioner, pada saat itu. Dari sekumpulan penjelasan arkeologi, tidak dapat disetujui bahwa ada satu daerah tertentu sebagai pusat penemuan batu bata lumpur. Sebaliknya, batu bata lumpur ditemukan secara independen di berbagai daerah yang berbeda. (Wright, 2005, hal. 98)

Batu bata lumpur bentukuan tangan tidak digunakan selamanya. Ia hanya bertahan selama satu millennium yaitu sejak millennium ke delapan sampai ke tujuh. Bentuk dari batu bata lumpur diasumsikan oleh tangan dari para pembentuknya adalah sebagai bentuk alami: bentuk bulat akibat dari pertumbuhan dan erosi alam. Bentuk ini sesuai dengan bangunan pada masa itu yaitu rumah bulat/bundar. Tapi, setelah beberapa millennium, hal ini berubah. Bentuk rumah menjadi persegi panjang. Akibatnya, batu bata lumpur berbentuk bundar, tidak lagi digunakan, digantikan oleh tipe batu bata lain, yang dibuat dengan cara yang berbeda dan dengan bentuk yang berbeda.

Selain dari segi material dan teknologi bangunan, batu bata lumpur juga dianggap revolusioner dari segi politik dan ekonomi pada saat itu. Hal ini terjadi

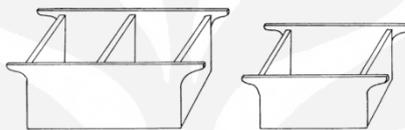
karena batu bata lumpur sebagai material hasil produksi yang dapat disimpan dan ditukar sebagai komoditas perdagangan.

b. Batu Bata Lumpur Hasil Cetakan (*Form Moulded Mud Brick*)

Jika penemuan dari batu bata lumpur menandai tahap yang penting dalam perkembangan kehidupan sosial, maka penemuan dari batu bata lumpur hasil cetakan berkaitan dengan perubahan yang lebih jauh yaitu sikap dasar manusia. Perubahan terjadi dari pemikiran dan perasaan tentang kenyamanan dengan struktur garis lengkung milik alam menjadi „intelektualisasi’ ruang dengan garis lurus dan sudut yang tepat, contohnya mentalitas dari sekumpulan kotak dan papan gambar (Wright, 2005, hal. 99). Perubahan dari membentuk menjadi mencetak sendiri merupakan perubahan yang revolusioner dan hal ini sejalan dengan perubahan mendasar yang terjadi dalam masyarakat.

Cetakan batu bata mungkin adalah salah satu penemuan manusia yang sangat efektif karena dari sebuah bingkai/kotak kecil dari kayu, kita dapat membangun monumen tinggi, dinding kota yang masif, dan bangunan baik besar maupun kecil. Pembuat batu bata berpengalaman yang bekerja dengan asistennya dengan hanya menggunakan kotak kecil tersebut dapat menghasilkan ribuan bahkan lebih batu bata setiap harinya secara rutin. Dari batu bata tersebut, kita dapat membangun sebuah dinding batu bata bervolume  $20 \text{ m}^3$  setiap harinya. Jika kita bandingkan dengan pemahat batu yang ahli, ia dapat membuat enam potongan batu per harinya. Dari potongan batu tersebut, kita akan mendapatkan dinding bervolume  $1 \text{ m}^3$ . Belum lagi bermacam-macamnya peralatan metal yang dibutuhkan. Batu bata lumpur hasil cetakan memberikan dimensi yang akurat. Selain itu, dalam konstruksi, batu bata seperti batu dengan kekuatan pemikul/penahan beban yang tidak kurang dari batu kapur. Satu-satunya kekurangan dari batu bata lumpur adalah ketahanan dalam kondisi yang basah/lembab. Penting diperlukan untuk melindunginya dari basah/lembab. Singkat kata, penemuan cetakan batu bata berarti bahwa manusia dapat memproduksi dalam satu hari jumlah material bangunan yang sama dengan yang mungkin dihasilkan pemahat batu dalam dua hari.

Cetakan untuk membentuk batu bata adalah kotak sederhana dari kayu atau kotak yang terbuat dari rangka/bingkai lateral. Jika di masa lampau, pengikatnya adalah pasak kayu, sekarang diikat dengan paku. Secara umum, kotaknya berupa rangka saja, tidak mempunyai alas/dasar dan tutup/atas. Tapi, terkadang, kotaknya memiliki alas sehingga menjadi kotak tanpa penutup/sisi bagian atas. Terkadang, juga, umum untuk membuat cetakan yang terbuat dari lebih dari satu (biasanya dua) kotak/kompartemen.



Gambar 2.8 Tipe Cetakan Batu Bata Mesir

Sumber : Ancient Building Technology



Gambar 2.9 Cetakan Batu Bata dari Kayu yang Masih Tersisa

Sumber : Ancient Building Technology

Ada dua cara yang digunakan untuk menggunakan cetakan batu bata yaitu dengan meletakkan tanah ke dalam cetakan atau dengan meletakkan cetakan pada tanah. Sejumlah tanah dengan kualitas yang dibutuhkan dicampur dengan lumpur plastis, seringkali ditambahkan bahan tambahan lainnya, untuk menyamaratakan distribusi dari efek penyusutan ketika campuran dikeringkan sehingga produknya tidak rusak karena retak atau terbelah.

Di tempat lain, dekat dengan tempat pencampuran, tanah dibersihkan dan ditaburi dengan pasir atau jerami sebagai alas/tikar untuk batu bata. Kemudian, pembuat batu bata diberikan sejumlah lumpur yang sudah dicampur oleh asisten. Apabila ia menggunakan cara yang pertama, pembuat batu bata meletakkan cetakan, di tempat dimana ia bekerja. Selanjutnya, ia mengambil sejumlah lumpur dan mungkin menggulungnya dengan jerami dan menekannya. Kemudian, ia memindahkannya ke dalam cetakan yang ia genggam di tangannya yang lain. Lalu, ia meratakan tanah di bagian atas dengan bagian samping cetakan dan menekan lumpurnya ke bawah untuk memastikan lumpur sudah memenuhi keseluruhan cetakan.

Cetakan digoyangkan sedikit untuk menekan lumpur lebih dalam, dan untuk melepaskan lekatannya dari bingkai/kotak. Kemudian, cetakan diangkat, meninggalkan batu bata lumpur yang sudah tercetak. Proses seperti ini dilakukan berulang-ulang sampai kita mendapatkan jumlah batu bata yang diinginkan. Batu bata yang telah dicetak disusun membentuk susunan baris yang memanjang. Jika kita menggunakan metode alternatif, yang perlu kita lakukan adalah membentangkan lapisan lumpur dengan ketebalan yang diinginkan dan pembuat batu bata hanya perlu mencetak lumpur tersebut dari atas. Kemudian, ia meratakan bagian atas permukaan cetakan dan mengangkat cetakannya. Jika yang melakukannya sudah ahli, kita akan mendapatkan batu bata dengan jumlah yang lebih banyak dalam waktu yang sama dengan metode ini daripada dengan metode yang sebelumnya. Batu bata kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama waktu yang ditentukan untuk mendapatkan standar yang diinginkan.



Gambar 2.10 Representasi Proses Manufakturisasi Batu Bata Cetakan yang Diambil Dari Dekorasi Mural Mesir  
Sumber : Ancient Building Technology

Kemajuan teknologi dalam pembentukan batu bata bukan terletak pada peningkatan kualitas yang dihasilkannya (ketahanan atau kekuatannya) tapi dalam kesediaannya untuk digunakan, kenyamanan penggunaannya, dan yang paling utama adalah ukuran/standarisasinya. Bentuk dan ukuran batu bata yang identikal/sama persis mempermudah proses konstruksi karena dimensinya yang tepat dan mengembangkan penempatan batu bata dalam pola yang lebih umum sehingga kekuatan dari pekerjaan dinding batu bata meningkat. Jadi karakteristik terpenting dalam batu bata hasil cetakan adalah kompartemen dari bingkainya. Dari berbagai catatan arkeologis, kita dapat mengetahui darimana asal dimensi bingkai/kotak cetakan batu bata.

Pertimbangan pertama dalam membuat cetakan sebenarnya merupakan hal yang sederhana yaitu ukurannya (dan berat). Ukuran keseluruhan dari batu bata lumpur standar dibatasi oleh beratnya. Batu bata (dibakar/dipanggang) tradisional, berukuran sekitar 24 cm x 12 cm x 6 cm dan berat sekitar dua sampai dua

setengah kilogram, dirancang berdasarkan keterampilan saat itu dan peletakan batu bata yang efektif, dimana batu bata dapat dipegang dengan satu tangan. Batu bata kuno memiliki berat sepuluh kali berat batu bata sekarang yaitu 20 kg. Berat ini merupakan berat batu bata maksimal yang dapat dipegang dan dipindahkan oleh manusia tanpa kelelahan yang berarti. Jadi, ukuran standar batu bata tidak dapat melebihi ukuran dan berat tersebut, jika tidak ingin kehilangan kenyamanan dalam penggunaannya.

### 2.2.3.2 Batu Bata Bakar/Panggang

Batu bata bakar merupakan istilah dari material yang berbeda dari batu bata lumpur, memang lebih mirip dengan batu dibanding dengan batu bata lumpur. Ia lebih kuat menekan, kekuatannya lebih besar, dan lebih kedap dibanding batu bata lumpur. Tapi, tentunya, produksinya lebih mahal. Pada awalnya, ia merupakan material khusus yang digunakan untuk tujuan tertentu, apabila membutuhkan kualitas bangunan yang lebih baik. Kemudian, dengan meningkatnya kekayaan material di beberapa peradaban, ia menjadi material bangunan yang umum dan dapat dianggap sebagai material bangunan dengan tujuan yang paling serba guna yang pernah ada. Meskipun demikian, batu bata bakar dunia di masa lalu, esensinya, merupakan material yang digunakan untuk bangunan monumental atau „besar’.

Berdasarkan bukti arkeologis, pembuatan/produksi batu bata bakar sebagai material bangunan bukanlah kejadian industrialisasi manusia yang pertama dengan menggunakan teknologi *pyro* (pembakaran). Manusia telah membakar tanah untuk memproduksi tembikar dengan skala besar sejak 6.000 tahun sebelum masehi, 2.000 tahun sebelum manusia mengubah teknologi ini untuk memproduksi batu bata. Ia juga bukan langkah awal dalam penggunaan teknologi *pyro* untuk memproduksi material bangunan. penemuan baru-baru ini menyebutkan bahwa sebelum memproduksi batu bata bakar, manusia membakar batu kapur dan batu gypsum untuk memproduksi plester berkualitas tinggi yang digunakan sebagai material bangunan sejak tahun 8.000 sebelum masehi. Material plester ini juga dibentuk menjadi blok-blok yang merupakan material pendahulu batu bata bakar.

Batu bata lumpur yang disediakan untuk kebutuhan bangunan di Mesopotamia sebenarnya tersedia dengan baik. Jadi, alasan kenapa batu bata bakar muncul di bagian akhir adalah karena permintaannya bukan persediaannya. Sudah jelas teknologi *pyro* yang dibutuhkan untuk memproduksi batu bata bakar sudah ditemukan sebelum batu bata bakar diproduksi. Tapi, bukan pengetahuan teknologikalnya saja yang menjadi faktor penentu munculnya produksi batu bata bakar. Sumber daya material dari masyarakat (modal/kapital sosial) juga berpengaruh.

Ekonomi desa pada awal masa neolitik (termasuk bangunan) berdasar pada keluarga. Tanah, pekerja, dan modal yang dibutuhkan oleh semua bangunan dimiliki oleh keluarga. Semua bangunan merupakan rumah keluarga (termasuk juga candi/makam keluarga). Dan tiap keluarga dapat membangun rumahnya sendiri dengan batu bata lumpur yang mereka produksi sendiri. Kemudian, ketika struktur sosial berubah menjadi kumpulan dari unit-unit keluarga yang independen/berdiri sendiri. Tujuan dan kepentingan dari perkumpulan tersebut melebihi tujuan dan kepentingan dari tiap individu anggotanya sendiri. Bangunan bukanlah lagi merupakan replikasi dari unit rumah-rumah yang seragam. Banyak bangunan, yang kemudian, merupakan hasil pekerjaan publik. Hasilnya, kebutuhan khusus (misalnya kepadatan, ketahanan, atau kekedapan yang lebih,) terkadang muncul, dimana batu bata menjadi pilihan material bangunan yang utama. Jadi, perkembangan sosial-ekonomilah yang menyebabkan adanya permintaan akan persediaan batu bata bakar, material bangunan yang menghabiskan banyak biaya, membutuhkan banyak bahan bakar, dan buruh kerja ahli yang bekerja penuh. Imbasnya adalah masyarakat desa tidak lagi dapat mengumpulkan sumber daya yang dibutuhkan untuk memproduksi batu bata bakar. Oleh karena itu, batu bata bakar merupakan komoditas yang diproduksi dalam skala sosial-ekonomi yang lebih besar seperti dalam bentuk kota kuno, negara, atau kerajaan.

Pada proses produksi batu bata bakar kuno, ada dua tahap proses yang biasa dilakukan. Pertama batu bata lumpur dibuat dengan cara yang umum/biasa; dan kemudian batu bata ini dijemur di bawah sinar matahari langsung sampai cukup kuat untuk dipegang, mereka kemudian dipindahkan untuk ditumpuk dan

dibakar dalam tungku atau alat lain dengan tujuan yang sama. Tahap kedua adalah membakarnya untuk melakukan perubahan komposisi kimia dari bentuk material lumpur menjadi *terra-cotta*, substansi yang lebih keras, padat, dan kuat.

Dalam masalah ini, yang menjadi perhatian adalah apakah ada perbedaan di antara batu bata lumpur mentah dan batu bata bakar mentah yang dipersiapkan untuk pembakaran. Perbedaannya yang jelas adalah dalam hal, komposisi dan format batu batanya. Perbedaan dalam komposisi dari batu bata lumpur dan batu bata bakar sangat jelas. Perbedaannya ada pada material yang digunakan sebagai pengikat. Pada batu bata lumpur, material yang digunakan adalah material organik seperti jerami. Sedangkan, pada batu bata bakar, yang digunakan adalah substansi anorganik. Perbedaan dalam format batu batanya adalah akibat dari proses pembakaran pada batu bata bakar. Perubahan kimia yang dihasilkan oleh pembakaran harus merata ke seluruh bagian batu bata bakar. Jadi, format batu bata bakar dibuat sehingga batu bata bakar dapat terbakar menyeluruh dalam waktu yang singkat. Karenanya, batu bata bakar menjadi lebih terbatas ketinggiannya daripada batu bata lumpur.

Efek dari tahap kedua yakni pembakaran batu bata, tidak mudah untuk dinyatakannya dalam istilah yang tidak ilmiah. Tapi, beberapa perubahan kimia yang dihasilkan oleh materialnya ditandainya dengan adanya efek secara berurutan akibat peningkatan temperatur yang diberikan pada batu bata.

Perubahan pertama (non-kimia) adalah untuk mengeringkan air yang berada di pori-pori karena kelembaban dan tekanan atmosfer. Hal ini dihasilkan oleh peningkatan temperatur dari suhu ruang menjadi titik didih atau lebih (dari sekitar 20° C - 100°/120° C) sehingga air menguap. Kemudian, material organik lainnya dalam campuran dihancurkan secara kimiawi pada suhu 200° C. Jika terdapat jerami dalam batu bata sebagai bahan campuran, penambahan jerami sebagai bahan pengikat akan menjadi sia-sia. Perubahan selanjutnya adalah perubahan substansi kimia yang mengubah tanah menjadi *terra-cotta*, dan perubahan ini bekerja antara suhu sekitar 400° C - 700° C dengan suhu maksimum sekitar 600° C. Di sini, air yang terikat dengan partikel tanah liat yakni air yang mengkristal ditarik keluar. Pada tahap ini, secara teoritis, material menjadi kumpulan dari partikel-partikel kering. Selanjutnya, dengan

meningkatkan temperatur dari 700° C sampai 800° C, kandungan karbon (juga sulfur) akan membakar. Hal ini juga digabung dengan keluarnya gas oksigen (proses ini dinamakan oksidasi). Dan akhirnya, peningkatan temperatur sampai 900° C yang memulai perubahan kimia secara progresif dan mengubah material menjadi kaca (vitrifikasi). Hasilnya adalah *terra-cotta* yang lebih padat (material menyusut selama proses vitrifikasi), lebih kuat, lebih keras dan lebih tahan lama, lebih tahan panas, dan lebih kebal. Material bangunan buatan ini pada masa lalu, sejak 3.000 tahun sebelum masehi, lebih padat 15% dari batu bata lumpur tapi lebih kuat lima kali dalam tekanan. Ia lebih ringan dari batu tapi dengan kekuatan tekanan yang lebih besar daripadanya (dua kali batu kapur).

Perkembangan teknologi, di masa lalu, dalam memproduksi batu bata bakar tidak dapat diklarifikasi. Penilaian keseluruhan secara logis dari bukti yang ada adalah bahwa batu bata (seperti kapur dan gypsum) sebenarnya dibakar dalam selokan/parit atau gundukan non-struktural dimana batu bata dan bahan bakarnya tidak dipisahkan dan metode ini selalu digunakan. Walaupun demikian, pada masa romawi (mungkin untuk memproduksi batu bata berkualitas tinggi) beberapa batu bata dibakar dengan tungku yang beroperasi seperti tungku tembikar. Sayangnya, tidak ada bukti yang detail untuk mendukung kesimpulan yang belum pasti ini. (Wright, 2005, hal. 115)

### **2.3 Beton Sebagai Material Sistem Struktur Dinding Pemikul**

Beton merupakan istilah yang sama-sama dipakai untuk menyebut dua material bangunan yang serupa tapi tidak sama. Istilah beton yang pertama adalah beton yang dibuat oleh bangsa Romawi sejak sekitar 100 tahun sebelum masehi sampai tahun 350 masehi. Istilah beton yang kedua adalah istilah yang digunakan di Inggris untuk material modern yang ada pada akhir abad 19 dan 20, yang kemudian menjadi standar material bangunan yang dapat digunakan untuk semua tujuan/keperluan konstruksi dan masih digunakan sampai saat ini. Untuk membedakannya, istilah untuk beton kuno menjadi beton Romawi (*opus caementicium*). Sedangkan, istilah untuk beton yang digunakan sampai saat ini menjadi beton modern.

### 2.3.1 Perbedaan Antara Beton Romawi Dan Beton Modern

Lebih baik jika kita memberikan perbedaan konstruksi antara beton modern dan beton Romawi sebagai ukuran awal, daripada untuk menyebutkan perbedaannya satu persatu, kemudian, di dalam teks. Perbedaannya sangat menonjol, tapi masih terdapat hubungan pokok/dasar yang paralel di antara kedua material tersebut. Pertama, dan sangat jelas, adalah fakta bahwa beton modern adalah substansi buatan yang dicampur bersamaan sebelum “penempatan” di dalam posisi yang sesuai (seperti pada pondasi, dinding, atap, dan lain sebagainya), sedangkan beton Romawi adalah substansi yang mendapatkan sifat dan kualitasnya setelah material komponennya telah ditempatkan secara terpisah (contohnya pada pondasi, dinding, atap, dan lain sebagainya). Hal ini telah dinyatakan hampir di semua ulasan mengenai perbedaan beton modern dan beton romawi. Tapi, hal yang terpenting dari perbedaan ini tidak pernah dikemukakan. Perbedaan yang terkait dengan material dan pengerjaannya, juga penggunaannya, dinyatakan dalam tabel berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Beton Modern dan Beton Romawi

	Beton Modern	Beton Romawi
Komponen Material	Agregat kasar Agregat halus Semen Air	Agregat kasar Mortir seperti semen, yang terdiri dari : Kapur Pasir, dan/atau Tanah Vulkanis dan lain-lain, dan, Air
Proses Pengerjaan	Pencampuran beton Penempatan beton Pemberian cetakan Penuangan Penggetaran	Pencampuran beton Penempatan beton Lapisan luar Penempatan inti/pusat berupa (agregat kasar dan mortir)
Cara Penggunaan	Dalam penggunaan arsitektur, sebenarnya, selalu beton bertulang,	Dalam penggunaan arsitektur, selalu beton bermassa yang langsung dikerjakan pada

	dapat berupa pra-pabrikasi atau langsung dikerjakan di tempat sebagai konstruksi sistem struktur rangka. Terkadang, penggunaan dalam teknik digunakan sebagai beton bermassa yang langsung dikerjakan di tempat.	tempat. Dalam penggunaan teknik, sebagai beton bermassa pra-pabrikasi (contoh untuk pekerjaan pelabuhan).
Sifat Statis	Sebagai beton bermassa, ia kuat seperti batu kapur terhadap tekanan tapi hanya 10% atau kurang kekuatannya terhadap tarikan. Sebagai beton bertulang, penguat baja yang dimasukkan menambah kekuatan tarikan yang diperlukan	Kuat seperti batu kapur terhadap tekanan tapi dengan kekuatan terhadap tarikan yang sangat lemah dan tidak digunakan dalam tarikan/regangan.



(a)

(b)

Gambar 2.11 Perbandingan Beton Romawi (a) dan Beton Modern (b)

Sumber : (a) romanconcrete.com dan (b) besthousedesign.com

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa sifat dan kualitas yang ada pada beton modern dan beton Romawi tidak semuanya berbeda, tapi mereka dilihat dari pendekatan yang berbeda. Perbedaannya secara individual akan ditunjukkan

melalui pernyataan tentang beton Romawi, tapi observasi/pengamatan secara umumnya dapat dimulai dari sini.

Dalam istilah yang umum, dua substansi yang mengandung material yang sama, tapi disatukan/dicampur dengan cara yang berbeda. Keduanya menggunakan material dasar yang sama yaitu semen yang pekat/kuat. Pada beton modern, semen yang digunakan adalah semen siap pakai, contohnya seperti semen Portland yang dibungkus (produk hasil pembakaran batu kapur yang dihancurkan, tanah liat, dan lain sebagainya). Sedangkan, pada beton romawi, semen diproduksi di tempat konstruksinya langsung dengan mencampurkan mortir kapur bersama tanah vulkanis atau misalnya *terra-cotta* yang dihancurkan (ubin, pecahan tembikar, dan lain-lain).

Jadi, semen yang merupakan bahan penting dicampur secara terpisah sebagai mortir pada beton Romawi sedangkan pada beton modern, semen dimasukkan dalam proses pencampuran. Pencampuran ini merupakan proses penting dalam pembuatan beton modern tapi bukanlah bagian dari proses pembuatan beton Romawi. Begitu juga dengan pasir, pasir sebagai agregat halus adalah bagian dari proses pencampuran pada beton modern. Tapi, pada beton Romawi, tidak ada agregat halus yang terpisah dan pasir justru adalah substansi yang termasuk sebagai bagian dari mortar. Tanah vulkanis atau bahan lainnya, yang merupakan komponen penting untuk membuat mortar semen pada beton Romawi, bukanlah komponen terpisah dari beton modern tapi ia berfungsi sebagai komponen yang tergabung dalam semen Portland yang siap pakai.

Ide dasar dari beton modern adalah untuk menghasilkan material sepadat mungkin dan, kemudian, sekuat mungkin terhadap tekanan. Hal ini dicapai dengan, sejauh mungkin, menghilangkan void dalam substansi. Caranya, ia dicapai dengan menakar material yang digunakan dalam urutan menurun dari ukuran partikelnya sehingga agregat halus mengisi lubang di antara agregat kasar (kerikil, pecahan/puing-puing batu) dan semen sebagai partikel paling halus mengisi lubang di antara pasir, sementara air meresap ke dalam semua celah/lubang yang tersisa. Kepadatan optimal dapat dicapai dengan pencampuran yang menghabiskan waktu dan tenaga yang besar, yang merupakan hal terpenting

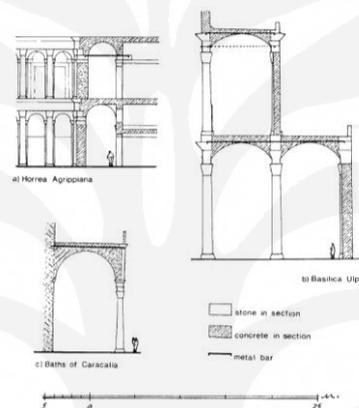
dalam pengerjaan semen modern. Proses ini tidak terjadi pada beton Romawi, dimana mortar dan agregat kasar diletakkan secara terpisah, pada tempatnya.

Beton modern ditempatkan dengan menuangkan campuran cair ke dalam pembatas/cetakan yang sebelumnya telah dibuat. Dengan melakukan hal tersebut, kita perlu untuk memastikan bahwa campurannya telah memenuhi seluruh volume cetakan secara menyeluruh. Cara memastikannya adalah dengan menggetarkannya. Pada beton Romawi, permukaan/lapisan luar dan inti/pusatnya (agregat kasar dan mortar) diletakkan bersamaan dengan tangan sehingga menimbulkan sedikit masalah mengenai material pada bagian inti/pusat yang seharusnya memenuhi volume yang diperlukan.

Jika beton modern telah dicampur dan ditempatkan dengan benar, kekuatan penuhnya akan meningkat pada tempatnya secara perlahan seiring berjalannya waktu. Untuk memastikan proses ini terjadi dengan baik, beragam cara dilakukan, yang disebut sebagai *curing*. Hal ini, sekali lagi, juga penting dalam usaha untuk menghasilkan beton yang kuat dan bagus. Beton modern mengeras dan menjadi kuat melalui reaksi kimia air dalam campuran dengan komponen semen. Hal ini terjadi selama air berada dalam campuran dan suhunya tidak terlalu rendah (sudah pasti tidak di bawah titik beku). *Curing*, kemudian, juga termasuk perlakuan untuk melindungi beton dari kehilangan air dalam jangka waktu yang cepat karena penguapan air akibat suhu yang tinggi. Permasalahan yang terjadi pada beton Romawi berbeda. Campuran pada bagian inti/pusat secara permanen dilindungi dari kontak langsung terhadap udara/angin yang berlebihan dengan menggunakan permukaan/lapisan luarnya (terjadi pada dinding).

Terakhir adalah cara pengaplikasiannya yang berbeda. Baik beton modern dan beton Romawi menyediakan tipe konstruksi bangunan monumental yang baru yang menggantikan pekerjaan dinding batu (atau batu bata). Tapi, walaupun beton modern mengubah sistem struktur dinding pemikul beban menjadi sistem struktur rangka, beton Romawi masih merupakan kelanjutan dari sistem struktur dinding pemikul beban. Hal ini merupakan hasil dari fakta bahwa beton modern selalu diberikan penguat berupa tulangan baja ketika digunakan dalam bangunan. batang-batang baja dibenamkan dalam perhitungan beton untuk menambah kekuatannya terhadap tekanan dan untuk memberikan kekuatan terhadap tarikan.

Dengan cara tersebut, rangka-rangka dari pilar-pilar, balok-balok, dan lain-lainnya digunakan untuk menopang semua beban dan diisi dengan panel-panel ringan. Beton Romawi tidak diperkuat sehingga dinding merupakan pemikul beban dan hanya digunakan dalam bentuk lengkung (lengkungan, kubah, *dome*) agar beton Romawi dapat memiliki bentangan lebar. Tapi, dalam beberapa kejadian eksperimental, beberapa batang metal ditempatkan diantara kolom untuk menopang ambang pintu dari atas bagian bawah dari beton dengan penutup batu bata.

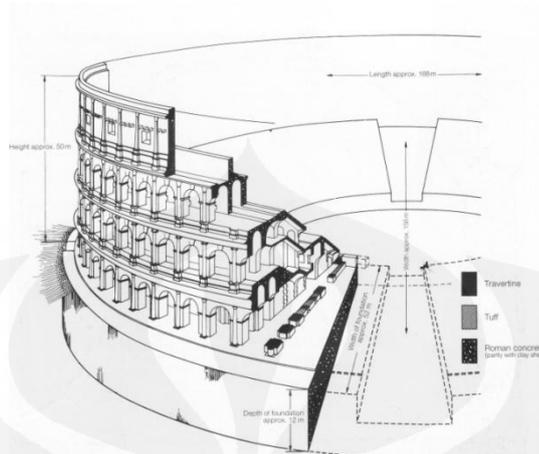


Gambar 2.12 Batang Besi yang Dicampur dalam Konstruksi Batu dan Beton Romawi,  
Roma Abad 1 - 3

Sumber : Ancient Building Technology

### 2.3.2 Aplikasi Beton Romawi pada Bangunan

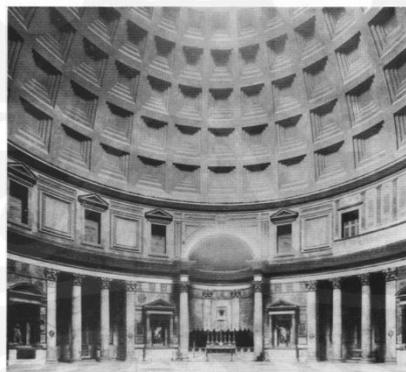
Beton Romawi memiliki sifat kedap air di kondisi tertentu dan mengandung kuantitas yang cukup dari agregat kasar, sampai sekitar 70 mm, seperti kerikil dan pasir sebagai agregat halus. Hasilnya, permukaan dengan finishing beton ditemukan, secara eksklusif, hanya di bangunan utilitas seperti waduk dan bak termal. Pondasi besar, seperti Colosseum di Roma (selesai tahun 80 masehi) dan struktur pelabuhan seperti tembok penahan gelombang di Naples dibangun dengan material ini; jejak yang ditinggalkan oleh bekistingnya masih bisa kita temukan. Pondasi dari tembok penahan gelombang di Pozzuoli yang dibangun oleh Caligula juga menggunakan blok beton pracetak (pabrikasi) yang, kemudian, ditenggelamkan ke dalam air.



Gambar 2.13 Colosseum

Sumber : Concrete Construction Manual

Bangunan yang mulai dibangun oleh Agrippa mungkin merupakan struktur yang spektakuler di Romawi kuno yaitu Pantheon tahun 27 sebelum masehi. Dinding silinder yang berdiameter 43,4 m dimahkotai dari konstruksi *dome* monolitik terbuat dari beton yang menopang dirinya sendiri. Struktur silang sesuai dengan diagram gaya dengan tepat sehingga tekanan dome dapat dipikul oleh dinding tanpa perlu adanya tambahan penopang. Seperti yang ditunjukkan dari hasil pengamatan, dinding dan konstruksi *dome* dengan tipe *waffle* menggunakan beton dengan kepadatan yang berbeda sehingga beratnya menurun sampai puncak dari dome dengan *rooflight* berdiameter 9 m.



Gambar 2.14 Pantheon, Roma

Sumber : Concrete Construction Manual

Selain Pantheon, *dome* beton lainnya, antara lain *dome* Hagia Sophia di Konstantinopel (sekarang Istanbul), dibangun antara tahun 532-537 dibawah arahan arsitek Anthemios of Tralles dan Isidoros of Millet pada masa kekuasaan

Justinian, berdiameter 32 m. Lalu, tahun 1570, *dome* berdiameter 43 m dibangun pada masjid Selimiye di Edirne.

### 2.3.3 Perkembangan Beton Modern

Penemuan beton modern diawali pada pertengahan abad kedelapan belas (1755), ketika Smeaton menemukan mortir hidrolis Romawi yang dapat bertahan di bawah air. Ia menemukan bahwa kandungan tanah liat tertentu dalam semen merupakan alasan untuk mendapatkan beton yang dapat dibangun di bawah air dan, juga, sifat kedap/tahan air untuk mortir. Perkembangan ini, kemudian, dianggap sebagai rahasia militer vital dan merupakan objek dari mata-mata Perancis sehingga mereka dapat membangun pelabuhan yang lebih baik bagi angkatan laut mereka.

Tapi, hubungan kimiawi dari berbagai macam kombinasi material yang dipakai masih belum jelas. Tidak sampai tahun 1815, seorang kimiawan Berlin Johan Friedrich John menjelaskan alasan kenapa mortir yang dibuat dari batu kapur lebih tahan lama dibanding mortir yang dibuat dari cangkang laut. Untuk mendapatkan hasilnya ia mempelajari sampel mortir dari berbagai bangunan bersejarah dan menyimpulkan jika ada hubungan antara asam silika, alumina, dan kapur -yang secara bersamaan dikenakan temperatur yang tinggi- yang menghasilkan gaya ikat yang erat. John kemudian diberikan award untuk karyanya dari Dutch Academy of Science.

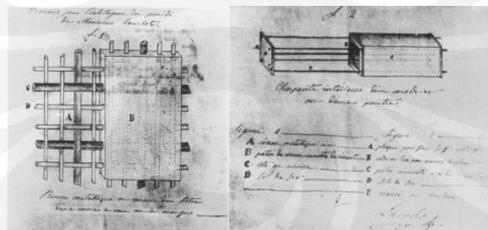
Tahun 1824, seorang ahli pembangun dinding batu bata dari Inggris, Joseph Aspdin mengembangkan campuran tanah liat dan batu kapur yang dia sebut sebagai semen Portland. Ia menjelaskannya sebagai metode untuk “pengembangan dalam cara memproduksi batu buatan”. Di pabrik kecil tahun 1825, di Wakefield, Inggris, berdirilah pabrik pertama yang memproduksi semen Portland untuk kepentingan komersial.

Setelah itu, berkembanglah beton menjadi beton bertulang. Sekarang, ketika manusia menyebutkan jembatan atau bangunan dari beton, mereka biasanya mengaitkannya dengan kata „beton bertulang’, beton dengan tulangan dari batang baja yang secara khusus ditanamkan untuk memikul tarikan dan tekanan geser pada elemen struktural. Sifat dari beton bertulang lebih kompleks

dari pada beton, karena ia bergantung tidak hanya pada sifat beton dan baja, tapi juga pada keefektifan beban yang harus disalurkan antara tulangan baja dan beton. Kombinasi dari kekuatan tarikan baja dan kekuatan tekanan beton, bersama dengan kemampuan untuk mencetak dengan berbagai bentuk yang beragam dan kompleks, telah menghasilkan perubahan yang luar biasa pada arsitektur kita sejak ia pertama kali ditemukan di akhir dekade abad kesembilan belas.

Stuktur pertama yang dibangun dengan beton keseluruhan muncul di Perancis dan Inggris di awal abad ke-19. Ahli *stucco* dari Inggris, William Boutland Wilkinson berhasil membangun slab lantai bertulang dari kawat pertama tahun 1852. Kemudian, tahun 1854, ia mengaplikasikan patennya untuk slab lantai komposit beton bertulang besi.

Aplikasi dari memasukkan besi untuk menstabilkan struktur dan komponennya juga merupakan subyek dari investigasi yang dilakukan oleh T.E. Tyerman. Hasilnya dipatenkan tahun 1854. Ia juga menunjukkan kebutuhan untuk membengkokkan besi di dalamnya untuk memproduksi ikatan yang lebih baik dengan mortir. Satu tahun kemudian, kontraktor bangunan Perancis, Francois Coignet mengembangkan metode pemadatan beton -meniru konstruksi tanah liat- untuk membangun struktur dan komponen dari berbagai jenis; ia menyebutnya *„Beton agglomeré”*. Pada saat yang bersamaan, ia juga mematenkan batang silang besi sebagai tulangan di slab lantai beton di Inggris. Ia membangun rumah tiga lantai dari beton di St. Dennis. Pada tahun yang sama 1855, insinyur dari Jerman Max Von Pettenkofer -berdasar penelitiannya sendiri- mempublikasikan metode produksi untuk semen Portland, yang sampai saat itu masih menjadi rahasia dan kemudian membuka jalan dimulainya produksi semen di Jerman.



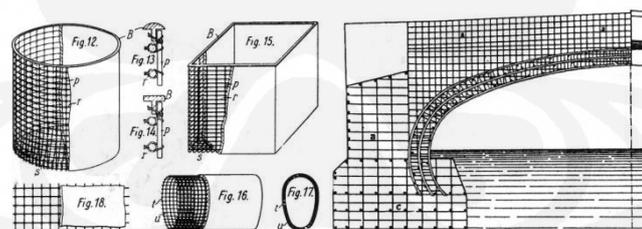
Gambar 2.15 Gambar Lambot untuk Paten Beton Bertulangnya

Sumber : Concrete Construction Manual

Dalam periode yang sama, Josef Louis Lambot, orang Perancis, mengerjakan permasalahan bagaimana untuk menggunakan beton bertulang dari

besi sebagai elemen tarikan. Ia mempertimbangkan penggunaan beton bertulang sebagai pengganti kayu dalam konstruksi tangki air, pot tanaman, dan gudang pelabuhan. Tulangnya berupa jala dari kabel metal dan penopang yang bertautan dengan berbagai bentuk. Lambot mengatakan, “Saya memberikan jala ini bentuk yang paling sesuai dengan objek yang saya inginkan untuk diproduksi dan, kemudian, membenamkannya dalam semen hidrolis sehingga menghilangkan semua sambungan” (Kind-Barkauskas, Kauhsen, Polonyi, & Brandt, 2002, hal. 16). Lambot memanggil materialnya ini, yang dipatenkan tahun 1855, sebagai “*ferciment*”.

Orang Perancis lain, Joseph Monier, melakukan eksperimen serupa. Selayaknya seorang pekerja kebun, ia mempunyai ide untuk memproduksi pot tanaman dari anyaman jala dan membatasinya dengan semen. Seiring ia mengembangkan ide ini, ia telah dapat mengembangkan sebuah ‘metode untuk memproduksi semua objek dari berbagai macam jenis kombinasi dari rangka metal dan semen’, dimana ia mendapatkan patennya. Ia juga mengaplikasikan prinsipnya untuk jembatan dari beton bertulang besi. Seperti yang ditunjukkan dalam gambarnya, pengaturan dari batang penguatnya memperlihatkan bahwa ia tidak menyadari adanya aliran gaya di dalam komponen strukturnya. Gambarnya juga memperlihatkan bahwa hubungan struktur internal dari aksi gabungan beton dan besinya tidak diketahui.

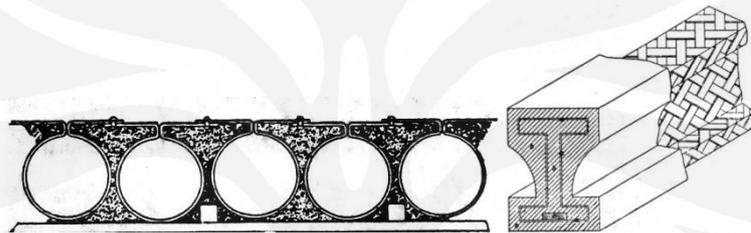


Gambar 2.16 Gambar Paten Monier

Sumber : Concrete Construction Manual

Di tempat yang lain, pada waktu yang hampir bersamaan, pengacara Thaddeus Hyatt menyadari hubungan struktural pada beton bertulang besi. Pada paten Hyatt di tahun 1878, semen beton dikombinasikan dengan strip dan batang besi untuk membentuk slab, balok, atau kubah (*vault*) dimana besinya hanya digunakan pada sisi tarikan.

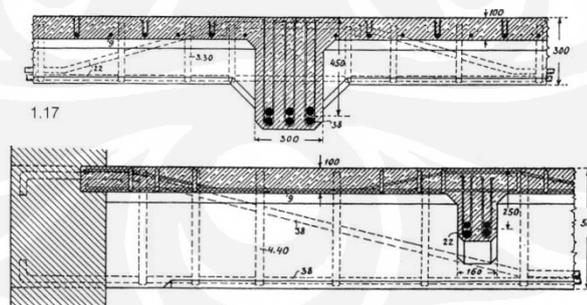
Hyatt juga menemukan ketahanan api dari material ketika besi seluruhnya dibungkus dengan beton (uji apinya dengan bangunan dari beton yang dibangun untuk tujuan ini di London menjadi terkenal). Tambahannya, ia juga mengamati ketahanan dari sambungan antara beton dan tulangan besi, ekspansi termal/panas dari dua material, dan perbedaan keelastisitasannya. Dan, terakhir, Hyatt juga yang menganjurkan bentuk struktural yang efektif dari balok T (*T beam*). Ia menekankan kesesuaian dari material bangunan komposit tidak hanya untuk material pemikul beban dalam struktur bangunan tapi juga -karena harus terekspos cuaca dan biaya perawatan yang rendah- untuk jembatan juga.



Gambar 2.17 Gambar Paten Hyatt

Sumber : Concrete Construction Manual

Pada tahun 1893, seorang pembuat dinding batu dari Perancis Francois Hennebique mengerjakan metode untuk memproduksi konstruksi komposit (gabungan/campuran) beton bertulang besi. Pada serangkaian tes, ia menyempurnakan konstruksi balok dan slab lantai yang dihubungkan monolitik dengan kolom beton bertulang besi. Jadi, ia berhasil memproduksi apa yang bagi beton bertulang besi mungkin adalah tipe paling tipikal dalam konstruksi. Bahkan pada awal tahap ini, pengaturan dari penguat pada sistem bangunan ekonomisnya sesuai dengan tepat mengikuti aliran gaya pada analisa strukturalnya.



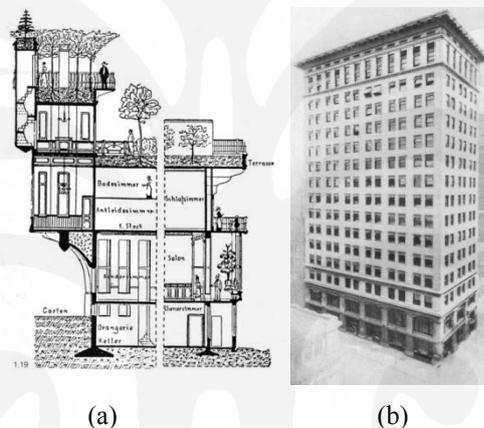
Gambar 2.18 Gambar Paten Hennebique untuk Konstruksi Komposit Beton Bertulang

Sumber : Concrete Construction Manual

Banyak pabrik dan gudang dengan memikul beban yang relatif berat, contohnya di Lille (1892) yang dibangun menggunakan „*Systeme Hennebique*”.

**Universitas Indonesia**

Tahun 1896, „kabin kereta api’-nya Hennebique menjadi bangunan yang pertama kali diproduksi massal. Hal ini menjadi unit bangunan *portable* pertama yang terdiri dari panel beton bertulang besi dengan ketebalan 50 mm. Selanjutnya, tahun 1904 ia mendemonstrasikan semua aplikasi potensial dari beton bertulang besi dalam konstruksi rumahnya sendiri di Bourg-la-Rheine. Sementara itu, bangunan bertingkat banyak pertama di dunia yang dibangun dengan beton bertulang besi ada di Amerika. Gedung Ingall (1902) di Cincinnati menggunakan rangka beton bertulang yang dikembangkan oleh Ransome dengan berdasar pada hasil karya Hennebique.



Gambar 2.19 (a) Bourg-la-Rheine, Rumah Hennebique, 1904; (b) Gedung Ingall, Cincinnati, 1902

Sumber : Concrete Construction Manual

Perkembangan lebih lanjutnya sekarang adalah beton pra-tekan, dimana baja ditekan, sebelum beton memikul beban. Hal ini mengizinkan kita untuk menggunakan beton yang lebih tipis/ramping, dan juga mengurangi potensi retak/pecah pada beton yang sering terjadi apabila beton bertulang dibengkokkan.

Banyak percobaan awal yang dilakukan untuk memproduksi beton pra-tekan, antara lain oleh: Jackson dan Doehring, Koenen di Germany, Sacrez di Belgia, Lundi di Swedia, dan Steiner di Amerika. Walaupun gagal karena penyebab dari munculnya fenomena „*creep*’ (retakan yang muncul perlahan-lahan dan menjalar) pada beton belum diketahui, percobaan-percobaan ini cukup memberikan kontribusi pada perkembangan beton pra-tekan.

Baru pada tahun 1991, Insinyur Perancis Eugene Freyssinet meneliti fenomena „*creep*’ pada beton dan hal inilah yang mendasari munculnya metode untuk memproduksi beton pra-tekan. Ia menyadari bahwa *creep*/retakan yang menjalar pada beton berkurang selama kekuatan tekan dan kepadatan beton

ditingkatkan. Semakin kecil retakannya, semakin sedikit beton kehilangan dari gaya pra-tekanannya. Di sisi lain, semakin besar gaya pra-tekan yang ada/tersisa setelah kehilangan yang terjadi, semakin sedikit kehilangan pra-tekan itu sendiri sehingga, sangatlah perlu, untuk mempra-tekan baja dengan kekuatan tarik yang besar. Beberapa tahun kemudian, Wilson di Inggris mengambil ide dari tulangan besi pra-tekan di beton lagi dan mengembangkan balok dengan penguat konvensional dan kawat yang sudah ditekan sebelum diletakkan dalam beton.

Freyssinet dan J. Seailles juga melanjutkan teknologi beton pra-tekan. Mereka mengakui pentingnya *'low-mortar'*, beton berkekuatan tinggi, dan mengembangkan metode pemadatan dengan getaran/vibrasi yang saat ini merupakan kebutuhan/persyaratan esensial/utama ketika mengerjakan beton pra-tekan. Perusahaan Wayss dan Freytag memperkenalkan istilah "*Spannbeton*" (beton pra-tekan) di Jerman tahun 1935. Satu tahun kemudian, Franz Dischinger berhasil membuktikan bahwa balok jembatan dari beton pra-tekan dapat dibangun dengan bentang sampai dengan 150 m. Pada saat itu, bentangan maksimum untuk konstruksi beton bertulang hanya sampai dengan 70 m.

Buku pertama tentang beton pra-tekan dipublikasikan tahun 1943 oleh Emil Morsch. Ia menjelaskan metode analisa untuk material ini dan menjelaskan sejumlah proyeknya, termasuk struktur beton pra-tekan pertama oleh Wayss dan Freytag di Jerman yaitu sebuah jembatan di Oelde, yang masih ada sampai sekarang.

Sementara itu, beton pra-tekan telah menjadi standar di semua area konstruksi. Di seluruh dunia, bentang lebar dibangun dengan konstruksi ini. Selain untuk membangun jembatan dengan sistem strukturalnya yang bervariasi dan proyek insiyur sipil dan struktural, beton pra-tekan sangatlah sesuai untuk rangka atap pada gudang pabrik dan atap kubah.

Setelah beton pra-tekan, selama abad kedua puluh, perkembangan terjadi pada adanya peningkatan yang terus menerus terhadap kekuatan dari beton biasa. Hal ini terjadi ketika proses kimia pencampuran beton menjadi lebih dimengerti, bersama dengan kesadaran akan pentingnya untuk memastikan kondisi yang baik untuk membuat beton. Sebelum perang dunia pertama, kekuatan beton sebesar 11-15 N/mm<sup>2</sup> adalah tipikal, walaupun rancangan untuk campurannya tidak

dispesifikasikan untuk meningkatkan kekuatannya, tapi dengan volume semennya yang relatif, partikel halus (pasir) dan partikel kasar (batu atau kerikil), hal ini adalah praktik yang masih dilakukan oleh tukang bangunan. Campuran tipikalnya adalah 1:2:4, 1:1,5:3 dan 1:1:2. Pada struktur yang lebih besar, kita perlu untuk menspesifikasikan kekuatan beton yang diperlukan. Pada tahun 1930-an, kekuatan tipikal beton meningkat sampai 15-20 N/mm<sup>2</sup>, dan sejak tahun 1950-an meningkat lagi sampai 20-30 N/mm<sup>2</sup>. Sejak tahun 1930-an hal ini menjadi mungkin, menggunakan campuran istimewa, untuk membuat beton berkualitas tinggi yang sekarang telah mencapai kekuatan sampai 120 N/mm<sup>2</sup>, yang empat kali lebih besar dari beton berkualitas pada umumnya.

Selama periode waktu yang sama, ada juga pemahaman yang berkembang tentang apa yang mempengaruhi ketahanan dari beton dan beton bertulang. Yang paling penting adalah kebutuhan untuk melindungi tulangan yang tertanam dalam beton dari korosi yang timbul akibat kontak/pertemuan dengan oksigen dan kelembaban. Ketahanannya harus disesuaikan dengan kondisi diluar (kelembaban, cuaca, dan lain-lain) dan ia dapat ditingkatkan dengan menambah ketebalan beton yang menutupi tulangan. Perlindungan juga meningkat apabila kandungan semen juga ditingkatkan dan rasio air dalam semen dikurangi. Di sisi lain, campuran seperti ini juga akan menghasilkan kekuatan beton yang lebih besar.

Hingga kini, perkembangan beton modern pun masih berlanjut. Tapi, teknis dan perkembangan rekayasa konstruksi beton yang terjadi selama 30 tahun terakhir (1970-2000) agak lebih sedikit dari sebelumnya. Pada tahun 1960, pemasaran sistem membangun yang, tadinya, agresif mulai menurun, pasar lebih menaruh perhatian yang untuk inovasi dalam mempercepat proses konstruksi dan peningkatan kualitas beton yang dipakai. Dampak terbesar yang dapat dilihat adalah dari peningkatan metode dan manajemen konstruksi di lapangan. Saat ini, perkembangan teknologi beton modern tidak terlalu banyak. Tapi, perkembangan dari segi metode dan kualitas beton modern yang semakin pesat.

## **2.4 Penelitian Terdahulu**

Tinjauan secara kronologis mengenai perkembangan material bangunan yang sejalan dengan perkembangan penerapan sistem struktur dinding pemikul,

kemudian, dilanjutkan dengan tinjauan penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu yang ditinjau terkait dengan penerapan sistem struktur dinding pemikul dalam bangunan bertingkat di masa lalu. Contoh penerapan yang diambil adalah rumah bertingkat (minimal lima lantai) di Shibam, Yaman. Rumah bertingkat di Shibam ini disebut-sebut sebagai gedung pencakar langit pertama di Dunia, yang juga berarti bangunan bertingkat dengan sistem struktur dinding pemikul pertama di Dunia. Atas dasar inilah, penelitian terdahulu mengenai rumah bertingkat di Shibam ditinjau. Tinjauan penelitian terdahulu ini diambil dari berbagai sumber data elektronik, antara lain situs resmi Shibam yaitu <http://shibamonline.net/eng/> serta jurnal-jurnal elektronik yaitu *Rehabilitation of the City of Shibam* oleh lembaga Aga Khan Award for Architecture dan *Shibam and The Wadi Hadramaut* oleh, Jean-Francois Breton dan Christian Darles.

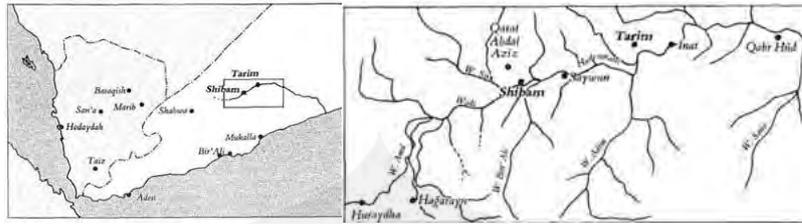
#### 2.4.1 Rumah Bertingkat di Shibam, Yaman



Gambar 2.20 View Keseluruhan Kota Shibam, Yaman

Sumber : Rehabilitation of the City of Shibam

Kota Shibam berdiri di atas tanjung/semenanjung pegunungan yang menanjak dari dasar Wadi Hadramaut. Arsitektur batu bata lumpurnya merupakan simbol dari masyarakat Yaman Selatan. Area kota yang berbentuk trapesium dikelilingi oleh tembok/benteng berukuran 250 m dari utara ke selatan dan 380 m dari timur ke barat. Tinggi fasad bangunan bertingkat yang terdekat dari tembok/benteng melebihi ketinggian tembok/benteng sekitar 20 - 25 m. Hanya kota ini yang dibentengi seperti ini di Yaman dan sistem pertahanan ini berasal dari masa kerajaan pra-Islam (abad kelima sebelum masehi sampai abad kelima).



Gambar 2.21 Peta Wilayah Shibam, Yaman

Sumber : Shibam and The Wadi Hadramaut

Perpotongan/interseksi dari jalan-jalan utama di kota Shibam adalah lokasi tempat-tempat terpenting di kota, seperti alun-alun, masjid, dan bangunan publik. Di dalam tembok/benteng, kita akan melihat pemusatan dari 500 bangunan bertingkat tinggi yang unik, yang dihuni oleh 8.000 orang. Bangunan tertinggi memiliki delapan lantai bangunan dengan tinggi 30 m. Bangunan lainnya (rata-rata) hanya memiliki lima sampai enam lantai bangunan. Rumah-rumah untuk masyarakat golongan atas (kaya) terletak di bagian barat kota, yang dibangun di tanah dengan ketinggian 10 m di atas tembok/benteng. Masyarakat yang miskin terletak di daerah yang bernama Sug, daerah di sekitar masjid Haroun al-Rasyid. Di bagian terbawah kota, terdekat dengan gerbang, berdirilah istana Sultan yang sudah lama serta pasar dan sekolah yang baru.



Gambar 2.22 Site Plan Kota Shibam

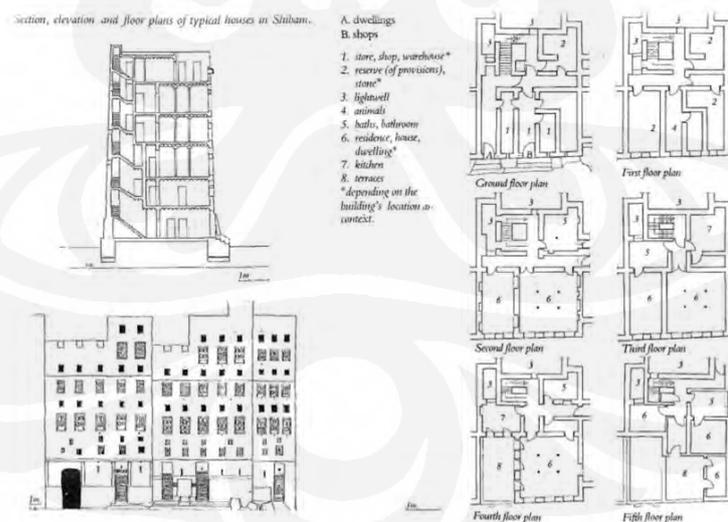
Sumber : Shibam and The Wadi Hadramaut

Alasan kenapa rumah di Shibam tinggi atau bangunan bertingkat sangatlah kompleks. Kota Shibam terletak di antara daerah dua Sultan yang berbeda, Quayti dan Qathiri, yang saling berperang di masa lalu. Penduduk Shibam mengungsi dan berlindung di balik ketinggian rumah mereka. Hal yang sama juga terjadi di masa kerajaan pra-Islam Di kota Shabwa, ibukota Yaman sebelumnya, rumah-rumah yang tinggi diasumsikan sebagai bagian dari pertahanan. Rumah di Shibam

terlihat seperti menara (*husn*); lantai dasarnya tidak memiliki jendela, tapi, terkadang memiliki lubang-lubang. Bangunan tinggi/bertingkat sendiri merupakan tradisi yang ada di pedesaan Hadramaut. Selain sebagai simbol menuju langit, rumah-rumah ini juga digunakan sebagai simbol prestise ekonomi. Seperempat dari penduduk Yaman bermigrasi ke luar benua pada pertengahan abad ke-17 dan tinggal di Singapura, Malaysia, Jawa, Batavia, dan India Selatan. Penduduk migrasi yang telah kaya, kemudian, kembali ke Yaman, pada tahun 1820-an sampai 1870-an. Semua kekayaan mereka, kebanyakan, digunakan untuk pembangunan. Di Shibam, prestise seseorang terefleksi dari bangunannya yang tinggi.

Setiap bangunan di Shibam adalah hunian tunggal dengan satu entrance/pintu masuk. Jika ada dua *entrance*/pintu masuk, salah satu dari pintu masuknya tersebut mengarah ke dalam sebuah toko. Setiap rumah terisolasi dari tetangganya. Fasadnya menghadap alun-alun atau jalan. Bagian belakang menghadap ke *courtyard* dengan saluran airnya yang terbuka.

Jika dirawat dengan baik, bangunan dapat bertahan dua sampai dengan tiga abad. Rumah yang paling lama, jika dilihat dari kusen pintunya, adalah Bayt Abdullah bin Fakik (1609), rumah lainnya dibangun pada tanggal sekitar 1880 sampai dengan 1915.



Gambar 2.23 Denah, Tampak, Potongan Rumah di Shibam

Sumber : Shibam and The Wadi Hadramaut

Sistem struktur bangunan yang digunakan adalah sistem struktur dinding pemikul. Dinding pemikul yang digunakan berwujud susunan batu bata lumpur

**Universitas Indonesia**

(*masonry*). Sistem struktur ini lazim digunakan dalam bangunan tradisional yang bertingkat, mengingat adanya keterbatasan dalam material dan teknologi, saat itu.

Material yang digunakan adalah batu bata dari tanah lokal/jerami yang ditutupi bagian luarnya dengan plester tanah/jerami sebagai material konstruksi bangunan yang standar/umum bagi mereka. Terkadang, balok kayu dimasukkan ke dalam dinding sebagai penguat/tulangan, Untuk bagian atap rumah yang harus tahan/kedap air, setelah dibangun, atap dilapisi dengan plester *ramad*, terbuat dari kapur, abu kayu, pasir halus dan pasir kasar.

Dari semua material yang digunakan, batu bata lumpur memiliki peranan yang paling penting, memikul beban. Untuk menjalankan perannya, batu bata lumpur yang digunakan harus memiliki kriteria khusus, antara lain komposisi dan dimensinya. Bahan utama batu bata lumpur yang digunakan adalah tanah. Tanah yang digunakan tidak sembarang. Hasil pengujian material pada bangunan lama telah menunjukkan bahwa kualitas tanah dalam material batu bata dan mortir yang digunakan adalah kualitas yang sangat baik, memiliki kandungan bahan pengikat yaitu tanah liat yang tinggi (kira-kira 10 persen). Kemungkinan besar hal ini disebabkan karena tanahnya, dahulu, dikumpulkan secara tradisional dari seluruh akar-akar pohon kurma atau tanah-tanah pertanian. Hal ini sekarang dilarang dilakukan oleh pemerintah Shibam.

Hasil pengujian tersebut sudah cukup untuk memastikan komposisi tanah seperti apa yang dibutuhkan. Tanah dengan kandungan tanah liat yang tinggi, ditambah dengan jerami cincang, merupakan komposisi pembentuk batu bata lumpur yang tepat. Air secukupnya, kemudian, ditambahkan untuk menghasilkan lumpur yang lunak sehingga dapat dicetak langsung, tanpa proses *„puddling“* (pemadatan/peliatan), menggunakan bingkai kayu.



Gambar 2.24 Cetakan Batu Bata dari Kayu

Sumber : shibamonline.net

Selain komposisinya, dimensi batu bata lumpur perlu diperhatikan. Dimensi yang berbeda-beda diaplikasikan menurut letaknya dalam lantai

**Universitas Indonesia**

bangunan pada setiap batu bata lumpur yang akan dipakai. Ada lima ukuran dari batu bata lumpur yang biasanya digunakan pada proses konstruksi rumah. Pada tingkat lantai dasar, dimensi dari batu bata adalah 1 (1/10) X (7/10) dhira (50,5 x 32,75 cm), batu bata kedua (9/10) x (2/3) dhira (42,5 x 30,5 cm), dan seterusnya batu bata kelima 0,55 x 0,53 dhira (25,5 x 23 cm).

Selain batu bata lumpur, material yang tidak kalah pentingnya adalah mortir dan plester. Mortir dan plester yang digunakan terbuat dari dua jenis yaitu yang dibuat dengan tanah atau kapur. Plester dan mortir dari tanah dibuat dengan cara yang hampir sama seperti batu bata, tapi dengan campuran jerami cincang yang lebih banyak untuk plester eksternal dan, terutama, pemilihan tanah yang hati-hati untuk memastikan bahwa plester memiliki campuran tanah liat yang baik. Sedangkan plester *ramad*, terbuat dari kapur, abu kayu, pasir halus dan kasar. Dominasi kandungan kapur pada plester *ramad* menjadikan plester ini kedap/tahan air.

Proses pelaksanaan konstruksi bangunan dimulai dengan pekerjaan pondasi bangunan. Pertama, tapak dibersihkan dan parit-parit untuk dinding digali hingga mencapai lapisan tanah keras.. Parit digunakan untuk menanam pondasi berukuran satu setengah kali sampai dua kali dimensi ketebalan dinding lantai dasar. Dasar parit pertama kali ditutup dengan lapisan kotoran hewan setebal 3 cm. Di atasnya, batuan garam diletakkan dengan kedalaman 8 cm, yang menjadikan dasarnya sangat kuat. Lalu, gelondongan kayu (*elb*) diameter 10-20 cm diletakkan sejajar dengan panjang dinding, dan dengan lebar yang sama seperti parit. Batu-batu kecil digunakan untuk mengisi celah antara gelondongan kayu dan untuk menjadikan ketinggian dasar pondasinya seragam/rata. Kemudian, lapisan *ramad* (mortir kapur/abu) diletakkan, di atas lapisan reruntuhan/puing-puing batu diletakkan. Lapisan batuan diletakkan berturut-turut hingga ketinggian pondasi yang dibangun telah melebihi batas permukaan tanah. Untuk pekerjaan konstruksi bangunan yang berkualitas baik, semua batu-batu itu diletakkan di dalam *ramad*. Sedangkan, untuk pekerjaan konstruksi bangunan yang berkualitas rendah, bahan utama mortirnya terbuat dari tanah, hanya pada permukaan luar dinding pondasi dilapisi/plester dengan mortir *ramad* atau kapur. Lebar dinding pondasi batu meruncing ke dalam perlahan-lahan hingga mencapai lebar yang

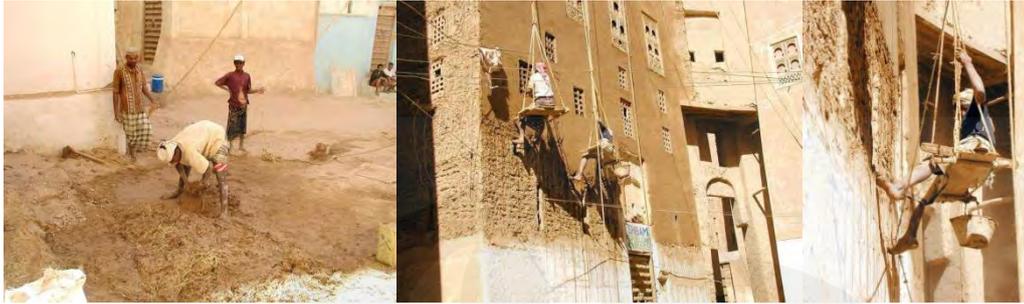
dimaksud untuk dinding batu bata lumpur. Tapi, pekerjaan batu itu diteruskan sampai melebihi 50 cm sampai 100 cm di atas batas permukaan tanah sebelum lapisan batu bata pertama diletakkan.

Proses pengerjaan pondasi yang dijelaskan di atas adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan rumah yang berkualitas terbaik. Rumah yang berkualitas lebih rendah, mungkin tidak menggunakan mortir *ramad*, hanya menggunakan mortir tanah. Selain itu, tidak ada pondasi batu sama sekali, tetapi menggunakan batu bata tanah liat yang tidak dibakar yang digunakan sebagai gantinya.

Setelah pekerjaan pondasi dilakukan, dinding dibangun dengan ukuran yang ketebalan dinding yang berbeda-beda di tiap lantainya. Ukuran ketebalan di Shibam ditentukan oleh unit yang digunakan oleh para tukang bangunan. Unit tersebut adalah dhira, yang nilainya bervariasi, seperti yang ada di berbagai negara Islam lainnya. Namun, dalam empat puluh tahun terakhir ini, diperkirakan satu dhira mendekati 45,8 cm. Semua bagian bangunan disebut oleh para tukang bangunan sebagai pecahan atau kelipatan dari dhira.

Secara berurutan, ketebalan dinding bangunan per lantai: pada lantai pertama atau lantai dasar, 1 (7/8) dhira (86 cm); pada lantai kedua, 1 (1/2) dhira (69 cm); lantai ketiga, 1 (1/4) dhira (57 cm); pada lantai keempat, 1 dhira (46 cm); pada lantai kelima, (3/4) dhira (34,5 cm); pada lantai keenam, (5/8) dhira (28,5 cm), dan pada lantai ketujuh, (1/2) dhira (23 cm). Dimensi-dimensi ini secara alami akan bervariasi dari tiap-tiap pembangun dan dari rumah ke rumah. Kemiringan yang dihasilkan di dinding terjadi di muka luar bangunan, bagian dalamnya sendiri lurus secara vertikal.

Setelah proses pengerjaan dinding selesai, kemudian, dinding dilengkapi dengan cara mengaplikasikan plester. Plester kapur, atau *ramad*, digunakan di luar dan atap bangunan. Bagian atap rumah dilapisi plester *ramad* untuk mendapatkan atap yang kedap/tahan air (tidak bocor). Persyaratan atap yang kedap air mutlak dilakukan karena bentuk atap yang dibuat datar. Atap rumah dikelilingi oleh pembatas karena digunakan juga sebagai teras.



Gambar 2.25 Pekerjaan Plester Dinding Bangunan

Sumber : shibam-udp.org



Gambar 2.26 Pengaplikasian Plester Kapur pada Bagian Atap/Atas Bangunan

Sumber : shibam-udp.org

Walaupun dari segi kekuatan struktur, bangunan ini terbilang kokoh dan tahan lama. Buktinya dapat kita lihat sendiri dari keberadaan bangunan yang masih bertahan sampai sekarang. Tapi, kekuatan strukturnya harus terus dirawat secara berkala dengan melakukan pelapisan plester ulang setiap jangka waktu tertentu. Dinding dan atap bangunan yang terbuat dari batu bata lumpur dan dilapisi plester tanah/*ramad* mudah rusak atau retak akibat kikisan iklim/cuaca Shibam yang ekstrim (kering). Secara berkala, dinding dan atap bangunan perlu diplester ulang agar bangunan dapat bertahan.

Proses pemberian plester ulang secara berkala ini, tentunya, memerlukan biaya yang cukup banyak. Ketika mulai terjadi kekurangan dari segi ekonomi dalam kehidupan masyarakat Shibam, perawatan dan pemeliharaan bangunan pun mulai terabaikan. Krisis ini terjadi pada tahun 1980-an. Banyak rumah-rumah di Shibam mulai rusak akibat tidak dilakukan perawatan dan pemeliharaan yang seharusnya dilakukan. Untuk menyelamatkan peradaban kota Shibam ini, UNESCO menetapkan Shibam masuk ke dalam daftar warisan dunia (World Heritage List), pada akhir tahun 1982. Proses restorasi, kemudian, dilakukan untuk menyelamatkan dan melestarikan kota Shibam dan bangunan-bangunannya.

## 2.5 Rangkuman Kepustakaan

Teknologi dan material bangunan, dari waktu ke waktu, berkembang dari yang alami menuju buatan. Hal ini bisa dibuktikan dengan adanya beberapa bangunan peninggalan masa lalu yang masih bertahan. Bangunan ini menggunakan material alam, seperti tanah dan batu, sebagai material bangunan mereka. Begitu juga dengan teknologi membangun. Teknologi yang manusia punya, pada saat itu, terbatas. Tapi, kedua hal tersebut tidak menghalangi manusia untuk membangun. Dengan apa yang mereka miliki, mereka bahkan membangun bangunan-bangunan monumental yang masih dapat kita lihat sekarang.

Dari bangunan-bangunan peninggalan masa lalu tersebut, kita mengetahui bahwa sistem struktur yang digunakan adalah sistem struktur dinding pemikul. Sistem struktur dinding pemikul memanfaatkan dinding masif sebagai elemen struktural yang mengalirkan beban yang dipikulnya ke dasar bumi. Biasanya kita mengenali bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul dari ketebalan dindingnya yang lebih besar di bagian bawah bangunan dan semakin menipis di bagian atas. Sistem struktur yang populer di masa lalu ini, sekarang tergantikan oleh sistem struktur rangka.

Kepopuleran sistem struktur dinding pemikul yang mulai tergantikan oleh sistem struktur rangka, tentunya, disebabkan oleh beberapa faktor. Dengan mempelajari perkembangan material bangunan dari yang alami (tanah) menuju yang buatan (beton) beserta teknologi membangunnya, diharapkan bahwa faktor-faktor penyebabnya akan ditemukan.

Salah satu material alami yang terkait erat dengan penggunaan sistem struktur dinding pemikul adalah tanah. Menurut G.R.H. Wright (2005), “tanah tercipta dari erosi batuan, baik secara mekanis maupun kimiawi” (hal. 77). Ia berupa kumpulan dari partikel kecil dan besar yang bersatu.

Untuk memanipulasi tanah agar sesuai menjadi material bangunan, manusia memberikan perlakuan seperti yang alam berikan. Perlakuan alami tersebut antara lain dengan memadatkannya, mencampur dengan air, dan membakar/memanggangnya. Dengan memadatkannya, berarti kita membangun dengan *rammed earth*. *Rammed earth* adalah tanah yang dimasukkan ke dalam

sebuah cetakan tradisional, yang kemudian dipadatkan, dengan cara dibentur-benturkan/dipukul-pukul dengan alat pemukul.

Lalu, dengan mencampurnya dengan air, kita akan mendapatkan bentuk lain dari tanah sebagai material bangunan yaitu tanah plastis. Tanah plastis adalah tanah yang dalam keadaan mudah dibentuk (plastis), yang harus segera diletakkan sebagai elemen struktural hingga, kemudian, mengeras/mengering di tempatnya. Cara yang terakhir adalah dengan membakar/memanggangnya. Cara ini mengubah komposisi kimia tanah menjadi material yang jauh lebih kuat, padat, dan tahan air. Contohnya antara lain batu bata lumpur dan batu bata bakar (tanah pra-pabrikasi). Jadi, secara kronologis dilihat dari sejarahnya, material tanah berkembang penggunaannya dari rammed earth, tanah plastis, menjadi tanah pra-pabrikasi.

Setelah tanah, material lain yang juga digunakan dengan sistem struktur dinding pemikul adalah beton. Berbeda dengan tanah, beton merupakan material buatan. Beton terdiri dari agregat dengan berbagai ukuran, secara umum dikategorikan sebagai yang halus (biasanya pasir) dan kasar (seperti batu yang hancur dan kerikil) yang digabungkan dengan adukan semen (campuran semen dan air) yang berfungsi sebagai pengikat. Walaupun istilah beton yang kita kenal merupakan beton yang ditemukan di zaman yang modern, sebenarnya istilah ini telah digunakan terlebih dahulu oleh bangsa Romawi untuk menyebut material beton mereka, *opus caementitum*.

Untuk membedakan keduanya, material beton yang modern, kita sebut sebagai beton modern. Sedangkan yang ditemukan oleh bangsa Romawi, kita sebut sebagai beton Romawi. Perbedaannya keduanya terletak dari segi komponen material, proses pengerjaan, cara penggunaan, dan sifat statis materialnya. Dari segi penggunaannya, material beton modern lebih ditujukan untuk bangunan bersistem struktur rangka. Sedangkan, material beton Romawi untuk bangunan bersistem struktur dinding pemikul. Salah satu contoh penggunaan material beton Romawi adalah Pantheon.

Penemuan beton modern tidak menyudahi perkembangan material bangunan. Beton sendiri terus berevolusi memenuhi tuntutan zaman yang menginginkan kualitas bangunan dan pengerjaannya yang tinggi. Perkembangan

beton dimulai dengan penanaman tulangan besi atau baja pada beton yang ditujukan sebagai elemen gaya tarik (beton bertulang). Banyak penemuan metode beton bertulang yang dilakukan oleh para ahlinya, saat itu. Salah satu yang paling banyak digunakan adalah karya penemuan milik Hennebique.

Setelah beton bertulang, ditemukan lagi inovasi baru dalam beton yaitu beton pra-tekan. Jadi, sebelum digunakan, tulangan besi/beton yang ditanamkan dalam beton ditekan. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan kualitas beton bertulang sekaligus mengurangi potensi retak/rusak. Selain perkembangan dari segi teknologi pembuatan materialnya, kualitas beton juga ditingkatkan. Perkembangan beton sampai saat ini terus berlanjut. Tapi, lebih kepada perkembangan konstruksi dan manajemen bangunan di lapangan yang bertujuan meningkatkan keefektifan dan keefisienan proses konstruksi bangunan, terutama dalam hal waktu.

Tinjauan mengenai perkembangan material bangunan ini, kemudian, dilanjutkan dengan penelitian terdahulu terkait rumah bertingkat di kota Shibam, Yaman. Rumah bertingkat Shibam merupakan gedung pencakar langit pertama di dunia. Penelitian rumah bertingkat Shibam ini diambil dari berbagai sumber data elektronik, antara lain situs resmi Shibam yaitu <http://shibamonline.net/eng/> serta jurnal-jurnal elektronik yaitu *Rehabilitation of the City of Shibam* oleh lembaga Aga Khan Award for Architecture dan *Shibam and The Wadi Hadramaut* oleh Jean-Francois Breton dan Christian Darles.

Rumah di kota Shibam dibangun bertingkat (minimal lima lantai) dilatarbelakangi oleh adanya kebutuhan akan rasa aman dan terlindungi yang mungkin ditimbulkan dari faktor ketinggian bangunan. Rasa aman dibutuhkan oleh penduduk kota Shibam karena Shibam terletak di antara dua kesultanan, yang dahulu kala, bertikai. Rumah bertingkat ini menerapkan sistem struktur dinding pemikul menggunakan batu bata lumpur hasil cetakan. Proses konstruksi bangunannya menggunakan metode penyusunan batu bata (masonry).

Seperti yang umumnya terjadi pada semua bangunan yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul dan material batu bata, dinding rumah bertingkat Shibam memiliki ketebalan tertentu di setiap lantainya (semakin di tebal di bagian bawah bangunan dan semakin tipis di bagian atas bangunan). Proses akhir dari

konstruksi rumah bertingkat Shibam adalah pelapisan dinding bangunan dengan plester yang terbuat dari tanah dan kapur (*ramad*). Plester kapur (*ramad*) adalah plester kedap air yang digunakan untuk melindungi dinding dan atap bangunan dari kondisi iklim/cuaca setempat (angin atau hujan). Pelapisan plester bangunan ini harus dilakukan secara berkala untuk mempertahankan kekuatan dan kekokohan bangunan. Jika hal tersebut dilakukan, rumah bertingkat Shibam dapat bertahan selama lebih dari dua abad. Rumah bertingkat Shibam tertua yang masih bertahan hingga saat ini dibangun tahun 1609.

Tinjauan secara kronologis mengenai perkembangan material bangunan yang digunakan pada bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul dan juga tinjauan penelitian terdahulu mengenai penerapan sistem struktur dinding pemikul pada bangunan bertingkat pertama di Dunia ini merupakan keseluruhan dari tinjauan pustaka. Tinjauan pustaka ini, kemudian, akan digunakan sebagai dasar dari penelitian yang akan dilakukan di bab selanjutnya.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif analitis, sedangkan pendekatan penelitian adalah kualitatif. Kemudian, dianalisis guna mendapatkan hasil penelitian berupa jawaban pertanyaan penelitian. Penelitian dilakukan secara deskriptif analitis guna mengetahui perkembangan penerapan sistem struktur dinding pemikul, terutama pada bangunan residensial bertingkat dan prospeknya ke depan.

#### **3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan melakukan survey langsung ke RUSUNAWA Seruni di daerah Pulo Gebang, Jakarta Timur. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai dengan Juni 2010. Penentuan lokasi penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan jenis sistem struktur yang digunakan pada bangunan.

#### **3.3 Unit Penelitian**

Unit penelitian ini adalah sistem struktur dinding pemikul pada RUSUNAWA Pulo Gebang serta sistem struktur rangka pada RUSUNAWA Cengkareng. Unit penelitian ini dipilih berdasar sistem struktur dan metode konstruksi yang digunakan dengan pertimbangan kelengkapan data yang cukup untuk dijadikan bahan penelitian atau dianalisis.

#### **3.4 Pengumpulan Data**

Data primer yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dengan melakukan observasi langsung ke RUSUNAWA Pulo Gebang dan wawancara dengan Manager RUSUNAWA Cabang Jakarta II. Sedangkan, data sekunder berupa *file* gambar kerja RUSUNAWA Pulo Gebang dan Cengkareng diperoleh dari PERUM PERUMNAS.

### **3.5 Analisis Data**

Data yang sudah terkumpul disajikan dengan penjelasan terlebih dahulu mengenai data umumnya, kemudian, dilanjutkan dengan pembahasan struktur dan material yang digunakan, proses pelaksanaan konstruksi serta kelebihan dan kekurangannya. Penyajian data yang bersifat deskriptif langsung disertai dengan analisis data.

## **BAB IV**

### **ANALISIS**

Analisis dilakukan terhadap dua studi kasus bangunan residensial bertingkat (lima lantai) yang masing-masing dibangun dengan sistem struktur dinding pemikul dan sistem struktur rangka. Pengkhususan pemilihan bangunan yang dianalisis yakni bangunan bertingkat didasari oleh fakta bahwa salah satu alasan mengapa sistem struktur rangka lebih populer dibanding sistem struktur dinding pemikul adalah karena keefektifan konstruksinya untuk bangunan bertingkat. Dari semua jenis peruntukan bangunan bertingkat, sistem struktur dinding pemikul hanya dapat diaplikasikan pada bangunan dengan denah yang tipikal/seragam sehingga pemilihan studi kasus bangunan pun dijatuhkan pada bangunan residensial, seperti rumah susun/bertingkat.

Aspek yang dibahas dalam bab ini, terdiri dari: data umum, sistem struktur bangunan, material bangunan, proses pelaksanaan, serta kelebihan dan kekurangan. Setelah semua aspek selesai dibahas dalam setiap studi kasus bangunan, hasil analisis, kemudian, dibandingkan dan disajikan dalam bentuk tabel perbandingan.

#### **4.1 RUSUNAWA Seruni, Pulo Gebang**

##### **4.1.1 Data Umum**

RUSUNAWA Seruni merupakan proyek rumah susun PERUM PERUMNAS. PERUM PERUMNAS memiliki peranan sebagai pembangun sekaligus pengelola bangunan ini. Jumlah yang dibangun adalah dua *twinblock* yang berarti terdiri dari empat blok. Luas seluruh bangunan 9.734 m<sup>2</sup> dengan luas masing-masing blok bangunan 2.433,5 m<sup>2</sup>. Luas lahan efektif per blok adalah 1.946,8 m<sup>2</sup> (80% dari luas satu blok). Luas prasarana adalah 3.172,66 m<sup>2</sup> (33% dari luas seluruh bangunan) dan luas fasilitas umum/open spacenya adalah 1.480,54 m<sup>2</sup> (15 % dari luas seluruh bangunan). Biaya konstruksi bangunan Rp. 915.000,-/m<sup>2</sup>.



Gambar 4.1 Tampak RUSUNAWA Seruni, Pulo Gebang

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Tinggi bangunan lima lantai dengan sistem transportasi vertikal berupa tangga dan lantai dasarnya dibiarkan terbuka untuk fasilitas umum dan sosial agar terhindar pengembangan liar yang dilakukan oleh penghuni. Jumlah unit dalam setiap blok adalah 60 unit yang terdiri dari 48 unit hunian dan 12 unit usaha. Luas setiap unit huniannya berkisar antara 21 m<sup>2</sup> termasuk kamar mandi, dapur, dan balkon. Selasar berada di depan dan belakang unit hunian dengan fasilitas jemuran di bagian dalam unit hunian sehingga tidak terlihat di luar.

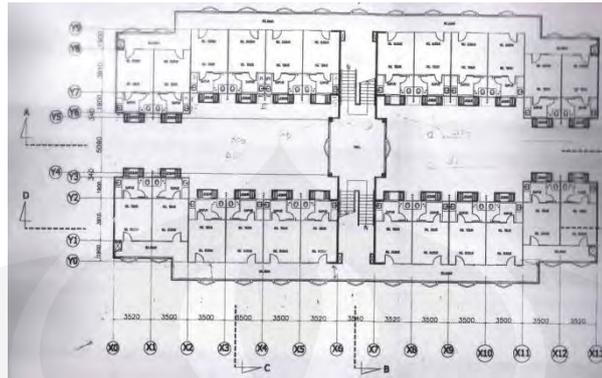


Gambar 4.2 Lantai Dasar Digunakan Sebagai Area Usaha (Komersial)

Sumber : Dokumentasi Pribadi

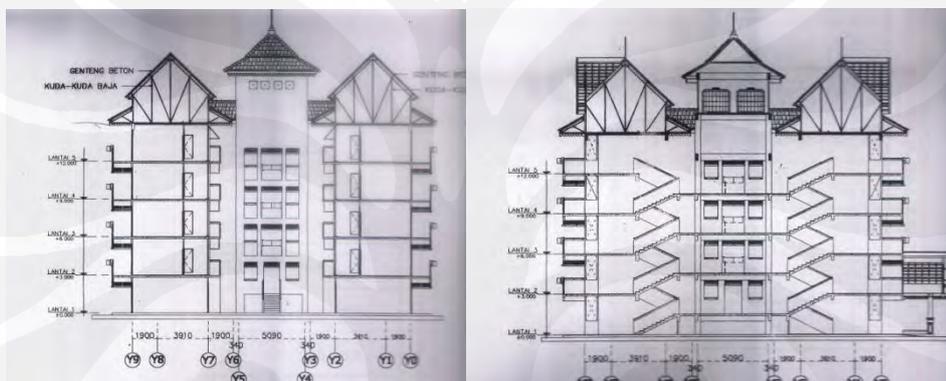
#### 4.1.2 Sistem Struktur Bangunan

Sistem struktur yang digunakan adalah sistem struktur dinding pemikul dengan material beton pracetak berupa komponen dinding dan lantai yang menyatu. Transfer gaya yang terjadi antara tiap komponen yang disusun terjadi di antara sambungan antar tiap komponen. Berbeda dengan sistem struktur dinding pemikul dengan material batu bata yang bergantung pada pola susunan/ikatan batu.



Gambar 4.3 Denah Tipikal Lantai 2 Sampai dengan 5

Sumber : PERUM PERUMNAS



Gambar 4.4 Potongan RUSUNAWA Pulo Gebang

Sumber : PERUM PERUMNAS

#### 4.1.3 Material Bangunan.

RUSUNAWA Pulo Gebang merupakan bangunan hunian bertingkat yang menggunakan material beton pracetak. Sistem penggunaan beton pracetak adalah dengan melakukan pengecoran komponen beton di tempat khusus di permukaan tanah (fabrikasi), lalu dibawa ke lokasi (transportasi) untuk disusun menjadi suatu struktur yang utuh (ereksi). Jenis beton pracetak yang dipakai adalah jenis beton pracetak yang terdiri dari komponen dinding dan lantai yang menyatu, dinding berlaku sebagai dinding sekaligus kolom (dinding pemikul) dan lantai berlaku sebagai lantai sekaligus balok.. Lebih khususnya lagi, komponen tersebut sudah dilengkapi dengan lubang-lubang yang akan difungsikan sebagai bukaan.

#### 4.1.4 Proses Pelaksanaan Konstruksi Bangunan

Proses pelaksanaan konstruksi bangunan menggunakan metode *outinord*. Metode *outinord* adalah metode yang menggunakan bahan baja sebagai bekisting

**Universitas Indonesia**

dan perancah, serta pengecoran beton di tempat. Menurut Manager PERUM PERUMNAS RUSUNAWA cabang Jakarta II, metode *outinord* ini merupakan metode yang dipatenkan oleh orang Indonesia. Proyek PERUM PERUMNAS lain yang menggunakan metode *outinord* ini antara lain RUSUNAWA Kemayoran dan Pulau Batam.

Pekerjaan konstruksinya dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama adalah tahap persiapan. Setelah pondasi tiang pancang selesai dikerjakan, kita menyiapkan dan meletakkan *crane* (mesin derek) serta unit bekisting di tapak. Tahap kedua adalah tahap pelaksanaan. Dinding dan plat lantai sebagai satu kesatuan hasil pabrikasi disusun per lantai, kemudian diangkut/pindahkan ke bangunan. Setelah dipindahkan, unit ini dicor. Tahap ketiga adalah finishing. Pekerjaan dalam tahap ini, salah satunya adalah pengecatan jika diperlukan.

#### 4.1.5 Kelebihan dan Kekurangan

Pemilihan material, sistem struktur, dan metode konstruksi yang dipakai, tentunya, memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing dalam proses konstruksi bangunan. Kelebihannya terletak pada waktu pengerjaan konstruksi yang lebih cepat. Menurut Manager PERUM PERUMNAS RUSUNAWA cabang Jakarta II, proses konstruksinya memakan waktu 300 hari, sedangkan jika menggunakan metode konvensional memakan waktu 400 hari. Hal ini mungkin terjadi karena semua elemen utama pembentuk ruang sudah tersedia, mulai dari dinding, lantai, dan atap. Sebagian besar waktu yang dibutuhkan untuk konstruksi bangunan lebih banyak dihabiskan untuk mengangkut komponen beton pracetak dan menyusunnya.

Selain efisien dalam hal waktu, penggunaan beton pracetak juga efisien dalam penggunaan material. Material yang digunakan adalah komponen wall-slope yang jumlahnya sudah ditentukan sebelumnya, tidak berlebih atau kurang. Lain halnya dengan, pengerjaan konstruksi bangunan yang tidak menggunakan komponen pracetak, misalnya dinding batu bata. Ada perkiraan penggunaan material batu bata, semen, dan pasir yang jumlahnya bisa berlebih atau malah kurang.

Kelengkapan komponen beton pracetak yang digunakan, pada akhirnya, juga mengurangi tenaga kerja yang dibutuhkan dalam proses konstruksinya. Pengurangan tenaga kerja tersebut imbas dari proses konstruksi yang lebih banyak menggunakan mesin derek (*crane*) untuk proses pengangkutan dan penyusunan komponen beton pracetak menjadi bangunan. Kuantitas tenaga kerja berkurang tapi kualitasnya harus bertambah. Proses konstruksi bangunan dengan material seperti ini lebih membutuhkan tenaga-tenaga kerja yang ahli karena teknologinya yang maju.

Proses pembuatan beton pracetak yang merupakan material hasil prapabrikasi. Beton pracetak juga memiliki kualitas yang lebih bisa dipertanggungjawabkan dibanding material bangunan bukan pracetak. Alasannya adalah material beton pracetak dibuat di pabrik dengan standar dan pengawasan yang ketat dan terjamin. Sesuatu yang mutlak dilakukan dalam pembuatan barang pabrikan manapun. Selain itu, kelebihan lain dari material hasil pabrikan adalah fakta bahwa ia merupakan barang jadi dan siap pakai. Komponen beton pracetak yang siap pakai dapat langsung disusun menjadi bangunan, tanpa perlu mencetak dan menunggu proses pengeringan seperti yang dilakukan pada konstruksi bangunan dengan beton pada umumnya.

Segala kelebihan beton pracetak tersebut, langsung terhapus apabila ia diterapkan pada bangunan bertingkat di atas tujuh lantai. Menurut Manager RUSUNAWA PERUM PERUMNAS cabang Jakarta II, bangunan dengan teknologi seperti RUSUNAWA Pulo Gebang hanya bisa dibangun sampai ketinggian tujuh lantai. Alasannya adalah bangunan tidak dapat memikul beban mati bangunan melebihi batas ketinggian tujuh lantai bangunan.

Bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul memang dikenal memiliki beban mati yang berat. Dalam kasus yang lain, misalnya Gedung Monadnock (Chicago, AS) dengan ketinggian 16 lantai yang dibangun tahun 1970-1973. Ia berhasil dibangun dengan konstruksi dinding konvensional (*masonry*), tapi hasilnya kurang memuaskan karena beberapa kali bangunan ini tenggelam akibat beban bangunan yang berat.



Gambar 4.5 Gedung Monadnock

Sumber : monadnockbuilding.com

Selain terbatas untuk ketinggian bangunan tertentu, penggunaan beton pracetak memberikan masalah tersendiri dalam hal teknisnya. Layaknya material pabrikasi lainnya, ia harus diangkut dari pabrik menuju tempat dimana ia akan dipakai agar ia menjadi barang yang siap pakai. Masalah transportasi menjadi satu sub bahasan tersendiri bagi material beton pracetak. Hal yang dipertimbangkan dalam masalah transportasi, dimulai dari jarak tempuh, kendaraan transportasi, dimensi objek yang diangkut, volume objek yang diangkut, frekuensi pengangkutan, sifat material objek yang diangkut, waktu yang tersedia, sebaran lokasi pembangunan, lokasi proyek dan aksesibilitas, biaya yang tersedia, legalisasi sistem transportasi.

Masalah teknis lainnya adalah kesulitan dalam proses penanganannya di lapangan khususnya pada saat pendirian (*erection*), pengangkatan (*lifting*), dan penyambungan pada saat finalisasi konstruksi (*connecting*). Ada bermacam-macam cara pendirian/pemasangan (*erection*). Setiap cara yang dipilih memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing.

RUSUNAWA Pulo Gebang melakukan proses pendirian per lantai. Jadi, setiap komponen beton pracetak disusun menurut denah tiap lantai. Setelah itu, satu lantai bangunan hasil susunan wall-slope tersebut diangkut menurut urutan lantainya. Cara seperti ini berarti menuntut sebuah mesin derek (*crane*) yang dapat menjangkau seluruh luas lantai bangunan sekaligus dapat mengangkat keseluruhan beratnya. Masalah-masalah teknis ini berimbas pada pengeluaran biaya yang lebih banyak di setiap bagiannya.

Dari segi kekuatan strukturnya, beton pracetak memiliki kekuatan yang serupa dengan beton yang dicor di tempat. Perbedaannya, dalam kasus RUSUNAWA Pulo Gebang, yang perlu diperhatikan adalah bahwa transfer gaya pada struktur dengan material beton pracetak terletak pada sambungan antar tiap

komponen. Sambungan pada material beton pracetak menjadi hal yang vital untuk mendapatkan kekuatan dan kestabilan bangunan. Sedangkan pada beton yang dicor di tempat, transfer gaya terjadi di antara elemen-elemen strukturalnya sehingga perhatian khusus harus diberikan pada kualitas beton yang ada.

## 4.2 RUSUNAWA Cengkareng

### 4.2.1 Data Umum

RUSUNAWA Cengkareng dibangun tahun 1995 dengan jumlah lima lantai bangunan yang memiliki 384 unit rumah. Metode pelaksanaan/sistem konstruksi yang digunakan adalah konvensional. Luas dari tiap-tiap unit berkisar antara 21 m<sup>2</sup> (termasuk kamar mandi, dapur kecil, dan balkon). Setiap unitnya dilengkapi dengan fasilitas air PAM, gas, dan listrik 450 VA. Selasar/koridornya terletak di bagian depan/luar bangunan. Jemuran terletak di bagian belakang bangunan sehingga tidak terlihat dari luar. Lantai dasar dibiarkan terbuka dan digunakan untuk fasilitas umum dan fasilitas sosial. Estimasi biaya yang dikeluarkan saat itu (1995) adalah Rp. 450.000/m<sup>2</sup>.



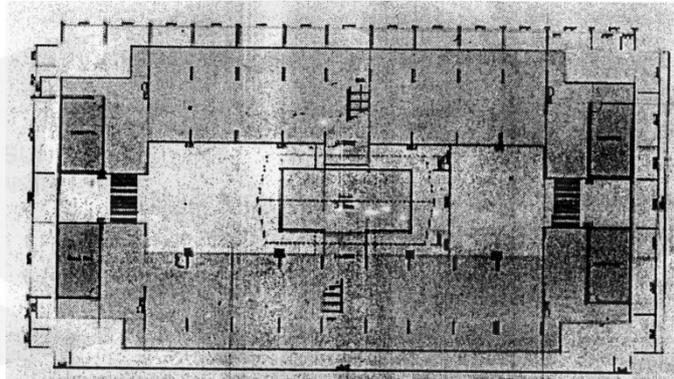
Gambar 4.6 Tampak RUSUNAWA Cengkareng

Sumber : PERUM PERUMNAS

### 4.2.2 Sistem Struktur Bangunan

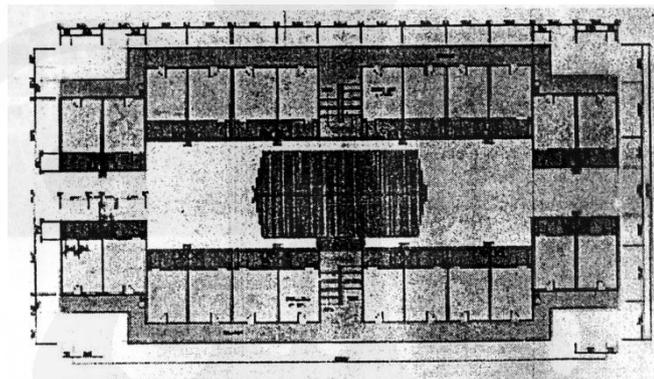
RUSUNAWA Cengkareng dengan sistem struktur rangka (kolom sebagai pemikul beban). Hal ini dapat terlihat dari denah bangunannya. Kita dapat melihat dinding yang berlaku sebagai partisi atau elemen pembatas ruang. Dengan sistem struktur rangka, kita dapat mengubah-ubah layout bangunan. tanpa perlu kesulitan yang berarti. Selain itu, layoutnya pun dapat dirancang sefleksibel mungkin.

Sistem struktur rangka ini terdiri dari hubungan antar tiap elemen struktural yaitu kolom, balok, dan lantai. Ketiga elemen ini berfungsi sebagai kerangka struktural bangunan yang menopang kekokohan bangunan. Karena hanya ketiga elemen ini yang memikul beban, beban mati bangunan lebih ringan.



Gambar 4.7 Denah Lantai Dasar RUSUNAWA Cengkareng

Sumber : PERUM PERUMNAS



Gambar 4.8 Denah Tipikal Lantai 2 s.d. 5

Sumber : PERUM PERUMNAS

#### 4.2.3 Material Bangunan

Uraian material bangunan yang digunakan antara lain: pondasi menggunakan sistem tiang pancang, kolom dan balok menggunakan beton bertulang, dinding menggunakan batu bata/batako, lantai dari beton screed, kusen pintu dan jendela dari aluminium, rangka atap dari kayu, dan penutup atap adalah asbes bergelombang yang dicat.

#### 4.2.4 Proses Pelaksanaan Konstruksi Bangunan

Metode konstruksi yang digunakan adalah konvensional. Metode konstruksi konvensional menggunakan bekisting dan perancah dari kayu. Proses

**Universitas Indonesia**

konstruksinya adalah dengan membentuk susunan rangka bangunan dari, kolom, balok, dan lantai, terlebih dahulu. Kolom, balok, dan lantai yang terbuat dari beton dan beton bertulang dicetak/cor di tempat. Setelah semua rangka bangunan selesai, dinding bangunan, yang terbuat dari batu bata/batako, dibangun. Pekerjaan, kemudian, dilanjutkan dengan pekerjaan finishing bangunan.

#### 4.2.5 Kelebihan dan Kekurangan

RUSUNAWA Cengkareng menggunakan sistem struktur rangka dengan metode konstruksi konvensional. Sistem struktur rangka terutama dengan beton bertulang terkenal dengan kemampuannya untuk menahan gaya tekan maupun gaya tarik. Hal inilah yang menjadi kelebihan utama dari penggunaan sistem struktur rangka. Selain itu, dengan sistem struktur rangka, kita dapat lebih fleksibel dalam usaha merenovasi/memodifikasi ruang dalam bangunan berulang-ulang tanpa usaha yang berarti. Rancangan yang ingin kita bangun dengan sistem struktur seperti inipun lebih fleksibel karena tidak ada batasan dalam perancangan (denah tipikal, pertimbangan struktural, pemberian bukaan, dan lain-lain).

Kelebihan tersebut ditambah dari segi metode konstruksinya. Faktanya adalah bahwa metode ini merupakan metode konstruksi yang umum sehingga tenaga kerja yang dibutuhkan untuk tidak perlu memiliki keahlian yang khusus. Kekurangan dari konstruksi bangunan ini lebih banyak terjadi dari metode konstruksi yang dipakai.

Kekurangan dari metode konstruksi ini adalah jumlah tenaga kerja yang diperlukan lebih banyak dan waktu pengerjaan yang lebih lambat. Waktu pengerjaan lambat karena dalam pembuatan elemen struktural dari beton bertulang, beton dicor di tempat dan, sebelum dilanjutkan, beton harus melalui proses pengeringan selama beberapa hari. Selain itu, proses pengerjaan di lapangan, biasanya, menghasilkan mutu atau kualitas pekerjaan yang kurang dapat dipertanggungjawabkan. Hal yang wajar terjadi di lapangan karena proses pengawasan mutu yang sulit, apabila jika ditambah dengan batasan waktu tertentu.

### 4.3 Hasil Analisis

Hasil analisis gabungan yang didapat dari dua studi kasus ini adalah perbandingan antara penggunaan struktur dinding pemikul dan struktur rangka pada RUSUNAWA lima lantai. Yang pertama merupakan studi kasus bangunan yang menggunakan sistem struktur dinding pemikul Yang terakhir adalah studi kasus bangunan dengan sistem struktur rangka. Hasil analisis setiap bangunan dibandingkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.1 Perbandingan Studi Kasus

	RUSUNAWA Pulo Gebang	RUSUNAWA Cengkareng
Material Bangunan	Beton pracetak	Beton <i>in-situ</i>
Metode Konstruksi	<i>Outinord</i>	Konvensional
Tahun Konstruksi	2000-2004	1995
Biaya Konstruksi	Rp. 915.000/m <sup>2</sup> (Harga per tahun 2000)	Rp.450.000/m <sup>2</sup> (Harga per tahun 1995)
Jumlah lantai bangunan	5 lantai	5 lantai
Batas lantai bangunan yang dapat dibangun	7 lantai	-
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- penggunaan material tidak berlebih</li> <li>- kualitas lebih terjamin</li> <li>- tenaga kerja yang dibutuhkan lebih sedikit</li> <li>- kekuatan beton serupa dengan beton yang dicor di tempat (<i>in-situ</i>)</li> <li>- waktu konstruksi relatif lebih cepat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rancangan dapat lebih fleksibel</li> <li>- tidak memerlukan tenaga kerja atau peralatan khusus</li> <li>- tidak ada batasan banyak lantai yang dapat dibangun</li> <li>- biaya konstruksi relatif murah</li> </ul>
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- perlu pertimbangan khusus dalam hal transportasi material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waktu pengerjaan lambat</li> <li>- mutu tidak terjamin</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>- ada kemungkinan kesulitan dalam hal teknis seperti <i>erection</i>, <i>lifting</i>, dan <i>connecting</i>.</li><li>- tenaga kerja dan peralatan yang diperlukan harus memiliki spesifikasi khusus</li><li>- teknologi dan keahlian khusus yang diperlukan memakan biaya yang relatif besar</li><li>- beban mati bangunan relatif lebih berat</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- tenaga kerja yang dibutuhkan banyak</li></ul>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapat, kita dapat mengetahui alasan dibalik fakta bahwa di lapangan, sistem struktur rangka jauh lebih populer dibanding sistem struktur dinding pemikul. Alasannya terletak pada batasan tinggi bangunan yang bisa dibangun dengan sistem struktur dinding pemikul. Bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul dapat dibangun terbatas hanya sampai ketinggian tertentu. Padahal, saat ini, pembangunan yang dilakukan lebih marak bangunan bertingkat banyak (lebih dari 20 lantai bangunan) yang, tentunya, lebih efisien dan efektif jika menggunakan sistem struktur rangka.

Selain karena terbatas dalam hal ketinggian bangunan, bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul juga tidak fleksibel dalam segi arsitekturalnya. Hal yang juga menjadi alasan mengapa bangunan bertingkat dengan sistem struktur dinding pemikul biasanya bangunan dengan desain yang tidak berubah-ubah, seperti hotel, apartemen, atau rumah susun.

Walaupun terbatas dalam kemungkinan pembangunan bangunan bertingkat banyak, sistem struktur dinding pemikul masih bisa bersaing untuk bangunan bertingkat di bawah 8 lantai dengan sistem struktur rangka. Sistem struktur dinding pemikul konstruksi bangunan dengan sistem struktur dinding pemikul lebih cepat pengerjaannya dibanding sistem struktur rangka. Untuk masalah kualitas, pengerjaan material pra-fabrikasi lebih dapat dijamin daripada yang dicor di tempat. Selain itu, kekuatan beton keduanya pun sama-sama kokoh.

Material pra-pabrikasi ini adalah material, yang saat ini, menjadi tumpuan penggunaan sistem dinding pemikul. Penggunaan sistem struktur dinding pemikul berkembang sesuai dengan material yang dipakai. Perkembangannya dimulai dari *rammed earth*, tanah plastis, tanah pra-pabrikasi (batu bata lumpur dan batu bata bakar), dan beton. Material yang terakhir berkembang dari beton yang digunakan sebagai dinding pemikul menjadi material beton pracetak (pra-pabrikasi) dengan

berbagai bentuk. Bentuknya mulai dari komponen dinding saja sampai dengan komponen dinding yang menyatu bersama lantai.

Berkaca pada perkembangan sistem struktur dinding pemikul sampai dengan penggunaannya dengan beton pracetak, prospek sistem struktur dinding pemikul, di masa depan, kurang meyakinkan. Banyaknya keterbatasan yang dimiliki oleh sistem struktur dinding pemikul, seperti desain bangunan yang kaku/tidak fleksibel, memiliki batas ketinggian tertentu untuk bangunan bertingkat, dan lain-sebagainya, menjadikan sistem struktur dinding pemikul tidak dapat bertahan dalam pembangunan yang berlangsung saat ini. Dengan keterbatasannya tersebut, sistem struktur dinding pemikul hanya bisa kembali populer apabila muncul inovasi berupa penemuan material baru. Material baru yang bisa mengatasi kelemahan struktur dinding pemikul seperti, misalnya material yang berukuran tipis seperti kaca tapi berkekuatan besar seperti beton.

## **5.2 Saran**

Dari kesimpulan yang diambil, penggunaan sistem struktur dinding pemikul dapat menjadi efektif dan efisien jika diterapkan pada bangunan dengan ketinggian tertentu (dengan menggunakan beton pracetak, maksimal tujuh lantai). Penerapannya, tentu saja, mengikuti kaidah-kaidah bangunan berstruktur dinding pemikul, pada umumnya. Biaya pembangunan yang dikeluarkan memang sedikit lebih besar daripada sistem struktur rangka, tapi waktu pengerjaan bangunannya relatif lebih cepat dan bangunannya, biasanya, kokoh dan tahan lama.

## DAFTAR REFERENSI

- Aga Khan Award for Architecture. (2007). *Rehabilitation of the City of Shibam*.  
[http://archnet.org/library/documents/one-document.jsp?document\\_id=10808](http://archnet.org/library/documents/one-document.jsp?document_id=10808)
- Breton, Jean-Francois, & Darles, Christian. (1985). *Shibam and The Wadi Hadramaut*.  
[http://archnet.org/library/documents/onedocument.jsp?document\\_id=4547](http://archnet.org/library/documents/onedocument.jsp?document_id=4547)
- Kind-Barkauskas, Friedbert, Kauhsen, Bruno., Polonyi, Stefan, & Brandt, Jörg. (2002). *Concrete Construction Manual*. Basel : Birkhäuser Basel.
- Macdonald, Susan. (2003). *Concrete Building Pathology*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd.
- Oliver, Paul. (1997). *Encyclopedia of Vernacular Architecture*. New York : Indiana University Press.
- PERUM PERUMNAS. *Sistem Konstruksi Pembangunan Rumah Susun Sangat Sederhana dan Rumah Susun PERUM PERUMNAS*. Jakarta : PERUM PERUMNAS.
- PERUM PERUMNAS. *Profil RUSUNAWA Cabang Jakarta II*. Jakarta : PERUM PERUMNAS.
- Toruan, Manasal A.L. (2010). Wawancara Pribadi.
- Wright, G.R.H. (2005). *Ancient Building Technology*. Leiden: Brill Academic Publisher.
- Wadi Hadramowt and the walled city of Shibam*.  
<http://shibamonline.net/eng/wadi0.php>
- Load Bearing Wall*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Load-bearing\\_wall](http://en.wikipedia.org/wiki/Load-bearing_wall)